

# KGBauko *aktuell*



Januar 2013

3



---

Technische Universität Darmstadt  
Fachbereich 13 Bauingenieurwesen und Geodäsie

Fachgebiet Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion  
Prof. Architekt Stefan Schäfer

Petersenstraße 12  
64287 Darmstadt  
Telefon: +49 6151 16-3493  
Fax: +49 6151 16-7034

[www.kgbauko.de](http://www.kgbauko.de)  
[info@kgbauko.tu-darmstadt.de](mailto:info@kgbauko.tu-darmstadt.de)

1. Auflage, Januar 2013

Vorwort .....	6
<b>1. Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion</b>	
1.1 Geschichte von KGBauko .....	8
1.2 Wir über uns .....	9
1.3 Mitarbeiter .....	10
<b>2. Aktuelles</b>	
2.1 Jahresrückblick .....	16
2.2 Termine 2013 .....	18
<b>3. Lehre</b>	
3.1 Konstruktives Gestalten KG .....	20
3.2 Baukonstruktion BK .....	26
3.3 Grundlagen des konstruktiven Hochbaus GH .....	27
3.4 Freihandzeichnen FZ .....	30
3.5 Green Building Design GBD .....	32
3.6 Geschichte des konstruktiven Ingenieurbaus GKI .....	36
3.7 Interdisziplinäres Projekt Bauingenieurwesen IPBI .....	41
3.8 Grundlagen des Planens, Entwerfens und Konstruierens GPEK .....	45

<b>4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel</b>	
4.1 Sonderforschungsbereich SFB 666 .....	47
4.1.1 Systematische Generierung von Flächentragwerken .....	48
4.1.2 Smart Skins .....	52
4.2 Parametrische Prozesse .....	57
4.2.1 Werkzeugbibliotheken zur Approximation von Freiformflächen .....	58
4.3 Brandschutz im Geschossbau .....	63
4.3.1 Auszug aus dem Forschungsbericht .....	64
4.4 Bionik im Bauwesen .....	67
4.4.1 Tragwerke in der Natur als Ideengeber für den Leichtbau .....	68
4.5 Green Building Design .....	73
4.5.1 Solargewinnfassaden .....	74
4.6 Bauen im Bestand .....	81
4.6.1 Wechselbeziehungen von Feuchteschutz und Wärmeschutz im Baudenkmal .....	83
<b>5. Publikationen</b> .....	90
Ausblick 2013 .....	92
Danksagungen .....	93
Anfahrt .....	94
Impressum .....	95

Liebe Leserin,  
lieber Leser,  
liebe Freunde von KGBauko,

Sie halten nun die erste Ausgabe von *KGBauko Aktuell* in Händen. Das Heft ist gedacht als ein Baustein in einer Reihe von KGBauko zu verschiedenen Themen (*Wissenschaft, Konferenz, Aktuell usw.*) Sie finden in dem Heft einen kurzen Abriss unserer Lehr- und Forschungstätigkeit der letzten Monate - breit gefächert und umfassend dargelegt. Inhaltlich sehen wir darin ein Spiegelbild unserer Arbeit des zurückliegenden Jahres.

Warum ein neues Heft? Traditionsgemäß haben wir in den zurückliegenden Jahren zum Jahresende jeweils einzelne Kurzbeiträge zur DACON-Reihe beigetragen. Mit dem nun vorliegenden Konzept möchten wir mehr Möglichkeiten der Darstellung unseres breiten Tätigkeitsprofils anbieten. Tiefgehende, prägnantere Projektberichte sollen unsere Forschungsinhalte bildhaft darlegen. Weiterhin möchten wir die Grenzen des Massivbaus erweitern und getreu unseren breit gefächerten Inhalten die Heftinhalte entsprechend angleichen. Als Reihe

mit einer vergebenen ISSN-Nummer sehen wir des Weiteren die Möglichkeit, qualifizierte Veröffentlichungen anzubieten. Diese Inhalte sollen zum einen Werbung für das Angebot von KGBauko gegenüber Studierenden, Forschungspartnern und Interessenten anbieten und andererseits eine „Spielwiese“ für die sehr vielen verschiedenen Interessen unserer Mitarbeiter von KGBauko darstellen. Das Heft soll so jeweils „einen bunten Blumenstrauß“ vieler interessanter Berichte bereithalten.

Mit der Reihe, die in unregelmäßigen Abständen – vornehmlich zum Jahresende – erscheinen soll, möchten wir weiterhin einen kleinen „digitalen“ Dank an unserer Freunde und Förderer, aber auch an unsere Studierenden richten und Ihnen die zahlreichen Möglichkeiten einer Zusammenarbeit aufzeigen.

Ich lade Sie nun zu einer anregenden Lektüre ein, egal auf welche Art Sie Ihnen angetragen wird: Digital oder

in Papierform. Wir freuen uns, wenn wir Ihr Interesse an unserer Arbeit vergrößern können und hoffen auch auf Ihre künftige Unterstützung, gleich welcher Form sie uns begegnet.

Allen Leserinnen und Lesern wünscht das Team von KGBauko auch im neuen Jahr Erfolg, Gesundheit und allzeit frohes Schaffen.



Prof. Stefan Schäfer, KGBauko und alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Januar 2013

---

### 1.1 Geschichte von KGBauko

---

Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion (KGBauko) besteht seit Oktober 1998 und wurde mit der Absicht gegründet, die konstruktive Ingenieurausbildung an der TU Darmstadt um Fächer mit gestalterischen und baukonstruktiven Fragestellungen zu bereichern. Diese Idee wird bereits an der Universität Stuttgart seit vielen Jahren erfolgreich praktiziert und zielt dort auf interdisziplinäre Arbeiten in der Architekten- und Ingenieurausbildung. Der Gründung von KGBauko geht eine mehrjährige Lehrauftragstätigkeit mit ähnlicher Ausrichtung im FB 13 durch Prof. Burkhard Pahl voraus. Mit der Berufung von Prof. Stefan Schäfer aus Stuttgart im Juli 1998 und dem Beginn des Lehrbetriebs im Oktober des gleichen Jahres wurde nun dieser Lehrbereich dauerhaft institutionalisiert und hat mittlerweile seinen festen Platz in der Ingenieurausbildung der TU Darmstadt und darüber hinaus.

---

### 1.2 Wir über uns

---

Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion – kurz KGBauko – praktiziert Lehre und Forschung im Spannungsfeld der Architektur und der Bauingenieurwissenschaften interdisziplinär.

Mit Fächern wie Baukonstruktion, Konstruktives Gestalten, Green Building Design, Grundlagen des konstruktiven Hochbaus, GPEK, Freihandzeichnen und Geschichte des Konstruktiven Ingenieurbaus wird aktuell ein äußerst breites Fächerspektrum für ein Zuhörerpublikum mit verschiedenen Interessenschwerpunkten angeboten. Bereichert wird die Lehre durch zahlreiche außerplanmäßige Veranstaltungen, Exkursionen und interdisziplinären Kooperationen mit anderen Fachgebieten.

In dem 2003 neu geschaffenen Masterstudiengang Bauingenieurwesen schlägt sich diese Bandbreite in einem eigenen Studienprofil „Hochbau (Sustainable Design)“ nieder.



Gemeinsam mit Studierenden werden wissenschaftliche Projekte mit entwerferischen, gestalterischen, konstruktiven Schwerpunkten bearbeitet. Innerhalb und außerhalb der TU Darmstadt bestehen Kooperationen in verschiedenste Fachbereiche und Institutionen. Die Mitarbeiter von KGBauko stammen aus verschiedenen Fachrichtungen und arbeiten grundsätzlich interdisziplinär.



---

**1.3 Mitarbeiter**

---

**Stefan Schäfer, Prof. Dipl.-Ing. Architekt**  
Professor  
sts@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Patrizia Bender**  
Sekretärin  
bender@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Scholeh Abedini, Dipl.-Ing.,**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Sonderforschungsbereich 666  
abedini@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Robert Burgaß, M. Eng.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Bauen im Bestand & Mobile Learning  
burgass@kgbauko.tu-darmstadt.de



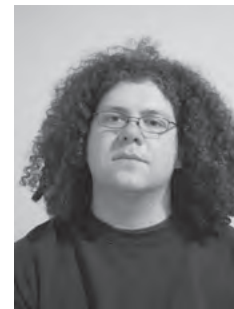
**Alexander Pick, Dipl.-Ing. Architekt**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Baukonstruktion Mauerwerksbau  
pick@kgbauko.tu-darmstadt.de



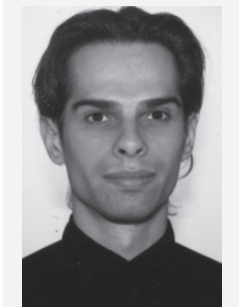
**Jens Herbert, Dipl.-Ing.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Green Building Design  
herbert@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Irene Root, Dipl.-Ing.**  
Lehre, Forschung  
root@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Jakob Reising, Dipl.-Ing.**  
„Entwicklung einer Werkzeugbibliothek“  
im Rahmen des SFB 666  
reising@kgbauko.tu-darmstadt.de



---

**Mitarbeiter**

---

**Ante Ljubas, Dipl.-Ing.**  
„Smart Skins“ im Rahmen des SFB 666  
ljubas@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Adrian Zimmermann, B.Sc.**  
„Beschreibbarkeit von Ästhetik“  
im Rahmen des SFB 666  
zimmerm@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Eberhard Pelke, Dipl.-Ing.**  
Lehrbeauftragter  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



---

**Studentische Hilfskräfte**

---

**Katharina Bell, cand. arch.**  
Tutor Freihandzeichnen  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Johannes Böhm, cand. B.Sc.**  
Forschung Green Building Design  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Elena Maier, cand. ing.**  
Homepage  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



---

**Studentische Hilfskräfte**

---

**Sarah Schmelz, B.Sc.**  
Forschung Green Building Design  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Florian Walberg, cand. B.Sc.**  
Tutor Baukonstruktion  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de



**Oliver Vogt, cand. B.Sc.**  
Forschung Bauen im Bestand  
info@kgbauko.tu-darmstadt.de

---

---

**Neue Mitarbeiter**

---

Frau **Dipl.-Ing. Irene Root** ist seit dem 8. November 2012 bei KGBauko in Teilzeit tätig. Nach Abschluss ihrer Ausbildung zur Vermessungstechnikerin absolvierte Frau Root an der Hochschule Darmstadt ein Architekturstudium und schloss dieses im Februar 2011 erfolgreich mit der Diplomprüfung ab. Nach einer Zwischenstation in einem Architekturbüro kehrte sie zur Mitarbeit in die Lehre zurück und unterstützt das Team von KGBauko bei der Betreuung von Lehrveranstaltungen in Bereichen des Leichtbaus, Baukonstruktion mit dem Schwerpunkt Bionik sowie Freihandzeichnen. Den Themengebieten Entwurf und Konstruktives Gestalten mit 3-D-Programmierung und Visualisierung möchte sie ihre Forschungstätigkeit widmen.

Herr **Dipl.-Ing. Jakob Reising** arbeitet seit dem 1. Januar 2013 am Fachgebiet KGBauko. Von 2002 bis 2011 studierte er Architektur an der Technischen Universität Darmstadt. Herr Reising schloss sein Studium im August 2011 mit dem Diplom erfolgreich ab. Im Anschluss absolvierte er im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 666 ein einjähriges Stipendium bei KGBauko zum Thema „Untersuchung von Potentialen parametrisch generierter Tragwerke“. Neben der weiteren Vertiefung dieses Themas wird er KGBauko auch in der Lehre und Administration unterstützen.

---

**Ehemalige Mitarbeiter**

---

Dipl.-Ing Björn Briegert  
Dipl.-Ing. Architekt Alexander Henze  
Dipl.-Ing. Anne Kawohl  
Dipl.-Ing. Heike Krückel-Diehl  
Dr.-Ing. Franziska Kuhn  
Dr.-Ing. Stefan Menzel  
Dipl.-Ing. Markus Petzold  
Dipl.-Ing. Architekt Felix Wellnitz

---



### Exkursion zu den Firmen Schott und Juwi in Mainz (27. Februar 2012)



### Workshop „Antriebe und Sensoren“ (22. März 2012)

Im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Bionik im Betrieb“ fand die Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Wirtschaftsministeriums am 22. März 2012 der Workshop „Antriebe und Sensoren“ im Alten Schalthaus in Darmstadt statt.

Hochkarätige Experten aus Wissenschaft und Industrie stellten in anschaulichen Vorträgen erfolgreiche Beispiele für die Übertragung bioni-

scher Prinzipien und Strukturen auf Antriebe und Sensoren vor. Die Themen der Vorträge: „Künstliche Hände“, „Adaptronik“, „Infrarotsensoren“ sowie „Laufroboter und Prothesen“.

Neben den bereits bekannten Kooperationspartnern wurde der Workshop von der Technischen Universität Darmstadt als Partner der Veranstaltung unterstützt.

### Lehr- und Forschungsaufenthalt bei Virginia Tech (USA)

Von März 2012 bis einschließlich August 2012 verbrachte Prof. Schäfer einen Lehr- und Forschungsaufenthalt an der international sehr renommierten Universität Virginia Tech in Blacksburg, USA. Insgesamt wurde dieser Aufenthalt über 2 Jahre lang akribisch vorbereitet. Auch wenn die in Blacksburg unmittelbar angrenzenden Blue Ridge Mountains der Appalachen viele reizvolle Naherholungsmöglichkeiten boten, lag der Schwerpunkt des Aufenthaltes beruflich orientiert in der Zusammenarbeit mit neuen Kolleginnen und Kollegen. Im Bereich des „Green Building Design“ konnten viele sehr nützliche Akzente gesetzt und gemeinsame Aktivitäten gestartet werden. Sehr spannend waren auch die Interaktionen mit Professoren aus den Fach-

bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Geologie, Geophysik und diversen Schnittstelleninstitutionen. Besonders erfolgreich verlief eine interdisziplinäre Veranstaltungsreihe zu dem Thema „Sustainable Constructive Design“ mit Experten aus verschiedenen Fachdisziplinen, für die auch zahlreiche Studierende begeistert werden konnten. Daraus hervorgehend ist eine gemeinsame Kooperation zwischen den BI-Fachbereichen der Virginia Tech und der TUD derzeit in Vorbereitung.

Aufgrund des Bestrebens der TU Darmstadt, sich international sichtbar aufzustellen, sind weitere Lehr- und Forschungsk Kooperationen mit anderen Hochschulen im Ausland in Vorbereitung.

---

### Konferenzen

---

#### 40th Northamerican Manufacturing Research Conference

Die diesjährige NAMRC ist vom 4. bis 8. Juni in Notre Dame, Indiana, USA, stattgefunden. KGBauko war mit einem kooperativen Beitrag zum SFB vertreten.

#### Advanced Building Skins

Vom 14. bis zum 15. Juni ist an der TU Graz die Konferenz „advanced building skins“ stattgefunden. KGBauko war mit einem kooperativen Beitrag zum SFB vertreten.

---

### Fachtagung

---

**Bauen mit Innovativen Werkstoffen – 3. VDI-Fachtagung** in Stuttgart (26.09.12 bis 27.09.12)

---

---

### Filmabend im Wintersemester 2012 / 2013

---

Gemeinsam mit dem Fachgebiet Stahlbau veranstaltete KGBauko im laufenden Wintersemester einen kostenlosen Filmabend für die Studierenden des Fachbereichs Bauingenieurwesen. Am 27. November 2012 konnten filminteressierte Besucher bei Pizza und Getränken verschiede-

ne Beiträge aus dem Bereich Bauen und Technologie verfolgen. In diesem Zusammenhang bedanken wir uns bei dem Sponsoren des Filmabends, der Firma Krebs und Kiefer, für die finanzielle Unterstützung und bei den Studierenden für das zahlreiche Erscheinen.

---

## 2.2 Termine 2013

---

### 2. Darmstädter Ingenieurkongress

Am 12. und 13. März 2013 veranstaltet der Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt den 2. Darmstädter Ingenieurkongress – Bau und Umwelt im Darmstadtium, dem Kongresszentrum der Stadt Darmstadt.

Anlässlich dieses Kongresses organisiert KGBauko gemeinsam mit

dem Fachgebiet Statik – Prof. Jens Schneider und Werkstoffe im Bauwesen – Prof. Harald Garrecht zwei wissenschaftliche Fachsessions mit dem Schwerpunkt Energie.

In diesem Zusammenhang thematisiert die Fachsession „Vom Energiehaus+ zur Plusenergiesiedlung“ globale Konzepte für Wohnen und Energie.

Chancen und Grenzen der Technik hinsichtlich Energiewandlung und -Speicherung, sowie die baukonstruktive Durchbildung der Gebäudehülle vertiefen das Thema. Praktische Erfahrungen realisierter Projekte runden das geplante Programm ab. Unterstützt wird die Fachsession durch die ee-concept GmbH.

Die Fachsession „*Energetische Ertüchtigung im denkmalgeschützten Gebäudebestand*“ bewegt sich hingegen im Spannungsfeld zwischen Denkmalschutz, Bauphysik und Gebäudetechnik. Wissenschaftliche Fachvorträge sind hier zu den Themen denkmalgerechte und energieeffiziente Modernisierung, Energieberater für Baudenkmale, Innendämmungen, erfolgreiche Fassadenplanung und Klimamonitoring vorgesehen.

Weiterführende Informationen zum genauen Inhalt und Ablauf der Sessions erhalten Sie bei uns. Ihre Ansprechpartner sind hier:

Dipl.-Ing. Jens Herbert  
Fachsession „Vom Energiehaus + zur Plusenergiesiedlung“

M. Eng. Robert Burgaß  
Fachsession „*Energetische Ertüchtigung im denkmalgeschützten Gebäudebestand*“



Flyer: 2. Darmstädter Ingenieurkongress Bau und Umwelt

Weiterhin können Sie alle wichtigen Informationen dem Flyer oder der Homepage zum Kongress entnehmen.

---

**Seminar „Material gestalten“ für Studierende der TUD**  
am 25. und 26. September 2013

Weitere Informationen werden zeitnah veröffentlicht.

### 3. Lehre



## TUD

Konstruktives Gestalten(i)  
und Baukonstruktion

PROF. ARCHITEKT  
STEFAN SCHÄFER



### Konstruktives Gestalten

WS 2012 / 2013

VORLESUNG  
ÜBUNG

DI 13.30 – 15.10 UHR L5 06/26  
DI 15.20 – 17.00 UHR L5 06/26

Diese Lehrveranstaltung gliedert sich in eine Vorlesungsreihe und daran anschließende, betreute Übungen. Der Schwerpunkt liegt auf der konstruktiven und gestalterischen Durcharbeitung zusammenhängender Projekte (z.B. filigrane leichte Tragwerke, sensible Strukturen, optimierter Materialeinsatz). Drei Übungen werden jeweils ca. 4 - 6 Wochen betreut bearbeitet und mit einer Präsentation abgeschlossen. Zum Leistungsumfang zählen (je nach Aufgabe) konstruktive und statische Nachweise, Plandarstellungen und Modelle. Interdisziplinäre Arbeitstechniken sollen angewendet werden.

EMPFEHLUNG

Die Lehrveranstaltung richtet sich an Studierende ab dem 1. Semester des Master-Studiengangs Bauingenieurwesen. Für die Teilnahme werden Vorkenntnisse in dem Fach Baukonstruktion empfohlen.

AUFGABE

- Konzeptentwicklung mit Skizzen und Arbeitsmodellen
- Konstruktive Durcharbeitung einer Tragwerksstruktur
- Entwurfsdarstellung anhand von Grundrissen, Ansichten, Schnitten, Isometrien und einem Arbeitsmodell
- Darstellung der Ergebnisse in Form eines schriftlichen Referats

ABLAUF

Di., 16.10.2012	Folgende Themen werden in den Vorlesungen und Seminaren behandelt:
Di., 23.10.2012	
Di., 30.10.2012	
Di., 06.11.2012	
Di., 13.11.2012	Vorstellung der Lehrveranstaltung, Modelle und Pläne
Di., 20.11.2012	Entwerfen
Di., 27.12.2012	Leichtbau (1) und (2)
Di., 04.12.2012	Bauen mit Textilien (1) und (2)
Di., 11.12.2012	Bauen mit Luft
Di., 18.12.2012	Bauen mit Glas (1) und (2)
Di., 15.01.2013	Bauen mit Stahl
Di., 22.01.2013	Bauen mit Seilen
Di., 29.01.2013	Bauen mit Holz
Di., 05.02.2013	
Di., 12.02.2013	Am Ende des Semesters findet eine Tagesexkursion statt.

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Arch. Alexander Pick

Petersenstraße 12  
D-64287 Darmstadt  
tel: 06151 / 16-7032  
fax: 06151 / 16-7034

### 3. Lehre



#### 3.1 Konstruktives Gestalten KG

Die Lehrveranstaltung Konstruktives Gestalten gliedert sich in eine Vorlesungsreihe und daran anschließende, betreute Übungen. Innerhalb der Vorlesung werden die Themenbereiche Leichtbau sowie Bauen mit Holz, Glas, Stahl, Textilien, Seilen und Luft behandelt. In den 3 Übungsteilen werden die Vorlesungsthemen in den jeweiligen Aufgaben aufgegriffen und unter konstruktiven und gestalterischen Gesichtspunkten durchgearbeitet. Die Übungen werden jeweils in 4-6 Wochen betreut und bearbeitet und jeweils mit einer Präsentation abgeschlossen. Die Studierenden entwickeln z.B. filigrane leichte Tragwerke, sensible Strukturen und optimieren diese innerhalb des Entwurfsprozesses in Hinblick auf den Materialeinsatz oder ihre Tragfähigkeit. Zunächst wird zur Konzeptfin-

dung auf Skizzen und Arbeitsmodelle zurückgegriffen, die dann durch die konstruktive Durcharbeitung und Detaillierung anhand von Zeichnungen und Abgabemodell(-en) dargestellt werden. Zum Leistungsumfang zählen (je nach Aufgabe) konstruktive und statische Nachweise, Plandarstellungen und Modelle. Zusätzlich sollen interdisziplinäre Arbeitstechniken wie z.B. das Rapid Prototyping im 3D Plottverfahren angewendet werden.

Im Wintersemester 2013/2013 wurde das Prinzip der Faltung behandelt. Mit der Aufgabe sollten die Zusammenhänge von unterschiedlichen Faltungen auf die Stauchbarkeit, die Tragfähigkeit sowie die Trageffizienz untersucht werden. Zusätzlich waren im hohen Maße ästhetische Aspekte zur berücksichtigen, die in Abhän-



gigkeit zur Größe der Faltungen, der Wahl des Faltmusters und der räumlichen Struktur stehen. Durch die Komplexität der einzelnen Abhängigkeiten wurde das Verständnis der Zusammenhänge von Konstruktion und Gestaltung gestärkt.

In den weiterführenden Aufgaben fließen die zuvor gewonnen Erkenntnisse der Studierenden in die weitere Bearbeitung mit ein, so dass sich der Lerneffekt in einem übergreifenden Optimierungsprozess widerspiegelt.



Konstruktives Gestalten WS 2012 / 2013, Studentische Arbeiten

#### 3.1.1 Faltwerke

Alexander Pick, Stefan Schäfer

Ein Flächentragwerk des Prinzips „Faltwerk“ ist geschichtlich gesehen eine Entwicklung des frühen letzten Jahrhunderts, die auf einen Entwicklungsprozess, den damit verbundenen materialtechnischen Voraussetzungen und auf die zunehmende Leistungsfähigkeit des Stahlbetons zurückzuführen ist.

Unter dem Oberbegriff „Flächentragwerke“ sind noch weitere statische Systeme zu verstehen, die durch Scheiben, Platten, Schalen und die o.g. Faltwerke definiert werden. In der Literatur werden diese Systeme

auch unter dem Begriff *Flächenaktive Tragsysteme* zusammengefasst [1]. Unter einem Faltwerk versteht man demzufolge ein räumliches Gebilde, das aus ebenen Scheiben zusammengesetzt ist und hierdurch eine räumliche Tragfähigkeit erhält [2].

Faltwerke lassen sich über zwei Elemente beschreiben: Die Scheiben und die aus den Scheiben sich ergebenden Kanten, einschließlich ihrer Hoch- und Tieffaltungen. Gekennzeichnet sind Flächenaktive Tragwerke durch den erhöhten Flächenwiderstand gegen Druck, Zug und Scherkräfte.

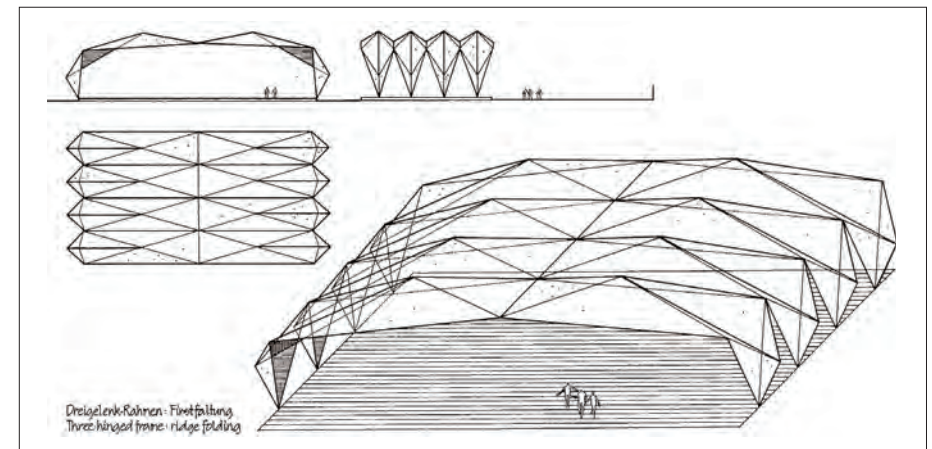


Abb. 1: Lineare Tragsysteme aus gefalteten Flächen, Zweigelenkrahmen

### 3. Lehre - 3.1 Konstruktives Gestalten



Abb. 2 und 3: Riverside Museum, Glasgow (GB), Dachaufsicht und Fassadenansicht

In der Literatur findet man unterschiedliche Ansätze zur Systematisierung von Faltwerken, die sich an der äußeren Form, der Materialität, dem mechanischen Verhalten oder nach der Veränderlichkeit des Querschnitts längs der Spannweite orientieren. Nach Heino Engel wird in Einachsige-, Durchkreuzende-, Lineare- und Polyeder-Faltwerke unterschieden [1]. Rosmann unterteilt in stabartige und pyramidische Faltwerke [3].

Faltwerke finden in der Architektur in unterschiedlichen Bauwerken ihre Anwendungen, von Zweckbauten wie Lagerhallen bis hin zu Sakralbauten oder Museen. Der Grund liegt in der erhöhten Trageffizienz, die durch die besondere Formgebung erzielt wird. Nutzt man die Synergien, die sich beim Einsatz von Faltwerken bieten, ist das statische System nicht nur Tragwerk, sondern gleichzeitig das gestaltende Element [4].



Abb. 4: St. Paulus, Innenansicht Mittelschiff, Neuss-Weckhofen

### 3. Lehre - 3.1 Konstruktives Gestalten



Abb. 5: Sportzentrum Mülilmatt, Windisch (CH)

Die architektonische Intention von Faltwerken gibt in diesen Fall die äußere Hülle und somit die Gestalt des Gebäudes vor. Gleichzeitig werden die innere Struktur und die damit verbundene Wirkung durch ein sichtbares Faltwerk geprägt. Freispannende Faltwerkkonstruktionen die den o.g. Anspruch erfüllen

sollen, wie bspw. das Riverside Museum in Glasgow, sind durch eine direkte Kooperation von Architekt und Tragwerksplaner geprägt worden. Die Synthese von Tragwerk, Hülle und Innenraum bei einem Faltwerk kann bei einem ganzheitlichen Einsatz als Archetyp eines Bauwerks verstanden werden.

#### Quellen

- [1] Engel, H.; Tragsysteme – Structure Systems, Hantje Cantz; Ostfildern, 4. Auflage 2009.
- [2] Born, J.; Faltwerke – Ihre Theorie und Berechnung, Stuttgart, Verlag Konrad Wittwer; 1954.
- [3] Rosmann, R.; Faltwerke I, DBZ Forschung und Praxis, in: DBZ 10/79.
- [4] vgl. Gebauer, E., Schaller, F.; in: Polónyi, S.; Tragende Linien – tragenden Fläche, Stuttgart, Edition Axel Menges, 2012, S. 120

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1 Engel, H.; Tragsysteme – Structure Systems, Hantje Cantz; Ostfildern, 4. Auflage 2009.
- Abb. 2 [www.zaha-hadid.com/architecture/glasgow-riverside-museum-of-transport](http://www.zaha-hadid.com/architecture/glasgow-riverside-museum-of-transport)
- Abb. 3 [www.zaha-hadid.com/architecture/glasgow-riverside-museum-of-transport\\_3](http://www.zaha-hadid.com/architecture/glasgow-riverside-museum-of-transport_3)
- Abb. 4 Polónyi, S.; Tragende Linien – tragende Flächen, Bearing Lines – Bearing Surfaces; Edition Axel Menges, Stuttgart / London, 2012, S.121
- Abb. 5 [www\\_sportausbildungszentrum\\_ch](http://www_sportausbildungszentrum_ch)

### 3. Lehre



Quelle: www.fraport.de

## BAUKONSTRUKTION

SS 2012

### VORLESUNG ÜBUNG/KORREKTUR

DI 13.30 – 15.00 UHR L5 06/11  
FR 09.50 – 12.50 UHR L5 01/342+347

In dieser Veranstaltung werden die konstruktiven Zusammenhänge und Detaillösungen, die bei Hochbauprojekten üblicherweise anzutreffen sind vermittelt. Der Inhalt der Vorlesungen behandelt Konstruktionsgrundlagen und Zusammenhänge von Bauteilen anhand von praxisbezogenen Beispielen (von der Gründung bis zum Dach). Den Schlusspunkt der Lehrveranstaltung bildet eine Exkursion. Das Ziel der Vorlesung ist es, ein baukonstruktives Verständnis im Bereiche Bauteil-gestaltung, Konzeption und Darstellung zu erlangen. Die Lehrveranstaltung dient der Grundlagenvermittlung und setzt keine fachbezogenen Vorkenntnisse voraus. Ein vorlesungsbegleitendes Skript ist erhältlich.

Anhand von betreuten Saalübungen werden konstruktive Details zeichnerisch ausgearbeitet, abgegeben und bewertet. Die Aufgaben sind so gestaltet, dass sie während der Übungen fertiggestellt werden können. Weiterhin werden zwei Hausübungen angeboten, von denen mindestens eine bearbeitet werden muss. Diese Saal- und Hausübungen sind Voraussetzung für die Zulassung zu einer Abschlussklausur.

### ABLAUF

Di. 10.04.2012 1. Einführung  
Di. 17.04.2012 2. Vorlesung  
Di. 24.04.2012 3. Vorlesung  
Fr. 04.05.2012 Übung (1+2)  
Di. 08.05.2012 4. Vorlesung  
Di. 15.05.2012 5. Vorlesung  
Di. 22.05.2012 6. Vorlesung  
Di. 29.05.2012 7. Vorlesung  
Fr. 01.06.2012 Übung (3+4)  
Di. 05.06.2012 8. Vorlesung  
Di. 12.06.2012 9. Vorlesung  
Fr. 15.06.2012 Übung (5+6)  
Di. 19.06.2012 10. Vorlesung  
Di. 26.06.2012 11. Vorlesung  
Fr. 29.06.2012 Übung (7+8)  
Di. 03.07.2012 12. Vorlesung  
Di. 10.07.2012 13. Vorlesung  
Fr. 13.07.2012 Übung (9+10)  
Di. 17.07.2012 Exkursion  
Fr. 27.07.2012 Klausur

Folgende Themen werden in den Vorlesungen und Übungen behandelt:

- Einführung / Zeichnen+Darstellen
- Maßordnung+Module
- Tragwerke
- Baugrund / Baugrube
- Gründung
- Abdichtung
- Wand
- Decken
- Dach (flach)
- Dach (geneigt)
- Treppe
- Gebäudehülle
- Gebäudetechnik

# TUD

Institut für Massivbau

FS  
Konstruktives Gestalten  
und Baukonstruktion

PROF.  
STEFAN SCHÄFER



Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Arch. Alexander Pick  
M. Eng. Robert Burgals

Petersenstraße 12  
D-64287 Darmstadt  
tel: 06151 / 16-7035  
fax: 06151 / 16-7034

### 3. Lehre



## 3.2 Baukonstruktion BK

In dieser Veranstaltung werden die konstruktiven Zusammenhänge und Detaillösungen, die bei Hochbauprojekten üblicherweise anzutreffen sind, vermittelt. Der Inhalt der Vorlesungen behandelt Konstruktionsgrundlagen und Zusammenhänge von Bauteilen (von der Gründung

bis zum Dach). Anhand praxisnaher Beispielfälle werden interessante und relevante Baudetails erörtert. (z.B. Wärmebrücken, Abdichtungen, Anschlüsse, etc.)

Den Schlusspunkt der Lehrveranstaltung bildet eine praxisbezogene Exkursion.

## 3.3 Grundlagen des konstruktiven Hochbaus GH

In dieser Veranstaltung werden die konstruktiven Zusammenhänge und Detaillösungen, die bei Hochbauprojekten üblicherweise anzutreffen sind, vermittelt. Der Inhalt der Vorlesungen behandelt Konstruktionsgrundlagen, Zusammenhänge von Bauteilen (von der Gründung bis zum Dach) und bauphysikalische Aspekte.

Den Schlusspunkt der Lehrveranstaltung bildet eine praxisbezogene Exkursion.

Die Veranstaltung ist eine reine Vorlesungsveranstaltung. Als Leistungsnachweis dient eine bestandene Klausur, die zu 50% aus einem baukonstruktiven Teil und zu 50% aus einem bauphysikalischen Teil besteht.



---

**Masterthesis, Stefan Miholic, SS 2012**

---

„Entwurf einer Leichtbaukonstruktion als Zuschauerüberdachung der Freianlage der Passionsspiele Sommerdorf“, Masterthesis, Stefan Miholic



Abb. 1 - 2: Masterthesis, Stefan Miholic, Entwurfsmodell

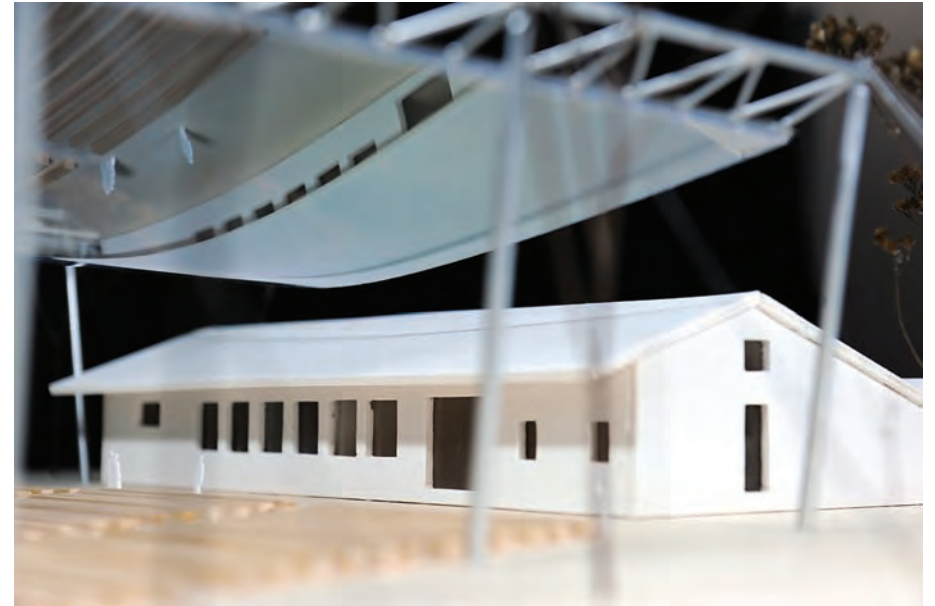


Abb. 3 - 4: Masterthesis, Stefan Miholic, Entwurfsmodell

# Freihandzeichnen

Seminarbegleitendes Skript



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Prof. Architekt Stefan Schäfer  
Fachgebiet Konstruktives  
Gestalten und Baukonstruktion



## 3.4 Freihandzeichnen FZ

Das Seminar Freihandzeichnen für Bauingenieure unterstützt die Kommunikation des Ingenieurs im Beruf mit Kollegen und Bauherren und schult die dreidimensionale Vorstellungskraft.

In wöchentlichen Übungen wird Schritt für Schritt das Handwerkszeug für das freie Zeichnen mit dem Bleistift, Faser- u. Kugelschreiber sowie Aquarell vermittelt.

Mit einfachen geometrischen Objekten (Würfel, Kugel...) und räumlichen Darstellungen wird der mediale Umgang mit der Thematik des Zeichnens geübt. Es werden die Grundlagen für komplexe geometrische Zusammenhänge, in denen Licht und Schatteneffekte eine Rolle spielen, vermittelt.

Des Weiteren ist es die Aufgabe, die

reale Darstellung (Perspektive) und unterschiedlichen Oberflächen von Materialien, sowie den Blick für Details, die das Ganze prägen, zu schulen. Zur Erfahrung von natürlich gewachsenen Strukturen (Blätter, Bäume...) werden die verschiedenen Linienführungen unterrichtet. In Aquarellen (Gebäude, Natur) wird auch der Umgang mit Farbe geübt.

Das Skript für die Lehrveranstaltung Freihandzeichnen ist im April 2012 neu erschienen (siehe Abbildung links) und kann in unserem Sekretariat erworben werden.

Header-Bild:  
Pflanzendetail, Strauch, SS 2011,  
Yigiao



### 3. Lehre



# TUD

Konstruktives Gestalten  
und Baukonstruktion

PROF. ARCHITEKT  
STEFAN SCHÄFER



## Green Building Design

WS 2012 / 2013

VORLESUNG  
ÜBUNG

DI 09.50 – 11.20 UHR L5 06/26  
DI 11.20 – 12.50 UHR L5 06/26

Die Lehrveranstaltung gibt einen umfassenden Einblick in die energetische Gebäudeanalyse unter Berücksichtigung verschiedener baukonstruktiver Detaillösungen. Bauen mit der Sonne und energetische Hauskonzepte werden in Seminarform erörtert. Hierzu gehören gezielte wissenschaftliche Fragen sowohl zu Materialien (z.B. Glas, Holz, verschiedene Dämmstoffe) als auch zu Konstruktionen (z.B. adaptive Bauteile, aktive / passive Wände).

## EMPFEHLUNG

Die Lehrveranstaltung richtet sich an Studierende ab dem 1. Semester des Master-Studiengangs Bauingenieurwesen. Für die Teilnahme werden Vorkenntnisse in den Fächern Baukonstruktion oder Grundlagen des konstruktiven Hochbaus empfohlen.

## AUFGABE

- Recherchearbeit zu verschiedenen aktuellen Themen
- Darstellung der Ergebnisse in Form eines schriftlichen Referats
- Bearbeitung eines kleinen Green Building Projektes
- Präsentation anhand eines mündlichen Vortrags

## ABLAUF

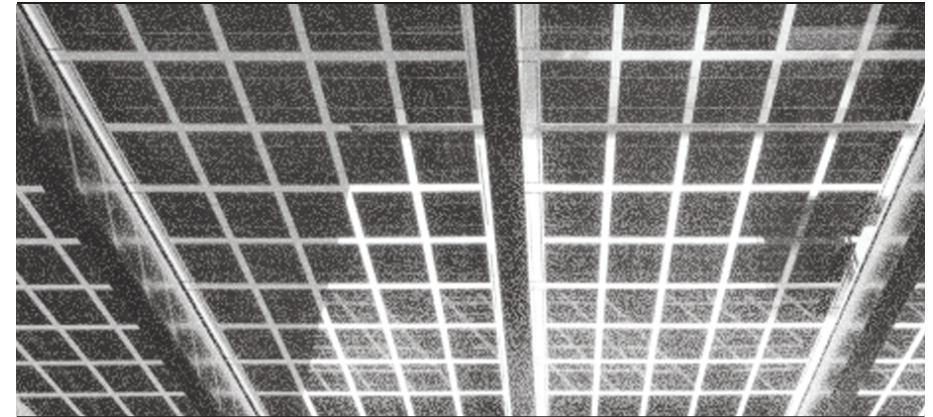
Di., 16.10.2012	Einführungsveranstaltung
Di., 23.10.2012	Vorlesung
Di., 30.10.2012	Vorstellung der Seminararbeit
Di., 06.11.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 13.11.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 20.11.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 27.11.2012	1. Zwischenpräsentation
Di., 04.12.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 11.12.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 18.12.2012	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 15.01.2013	2. Zwischenpräsentation
Di., 22.01.2013	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 29.01.2013	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 05.02.2013	Übung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Di., 12.02.2013	Abschlusspräsentation

Di., 19.02.2013 Abgabe der schriftlichen Ausarbeitung

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Jens Herbert

Petersenstraße 12,  
D-64287 Darmstadt  
tel: 06151 / 16-7033  
fax: 06151 / 16-7034

### 3. Lehre



## 3.5 Green Building Design GBD

Die Lehrveranstaltung gibt einen umfassenden Einblick in die energetische Gebäudeanalyse unter Berücksichtigung verschiedener, baukonstruktiver Detaillösungen. An ausgewählten Beispielen von Bauwerken werden aktuelle Konstruktionsprinzipien in Seminarform erörtert. Hierzu gehören gezielte wissenschaftliche Fragen sowohl zu Materialien (z.B. Glas, Holz, verschiedene Dämmstoffe) als auch zu Konstruktionen (z.B. adaptive Bauteile, aktive / passive Wände). Die Nutzung erneuerbarer Energien nehmen einen bedeutenden Schwerpunkt bei den Projekten ein. Recherchearbeiten zu individuell gewählten Themen werden mit schriftlichen Ausarbeitungen und Präsentationen anhand mündlicher Vorträge abgeschlossen.

„Autark und Grün - Büropavillion auf der Lichtwiese“ ist die Aufgabenstellung des aktuellen Semesters. Die Studierenden sollen ein kleines Büropavillion auf dem Gelände der Lichtwiese an der TU Darmstadt planen. Mit Hilfe von individuell frei wählbaren Materialien soll eine kleine Büroeinheit entwickelt werden, die ohne aufwendigen Erschließungsmaßnahmen an einem geeigneten Standort realisiert werden soll. Das Ziel ist eine Erweiterungsmöglichkeit universitärer Räumlichkeiten zur Verfügung zu stellen, die jederzeit bei größeren Umstrukturierungsmaßnahmen und Neubaukonzepten einfach zurückbaubar, versetzbar oder recyclebar sind. Der Betrieb soll ausschließlich mit regenerativen Energien betrieben werden.

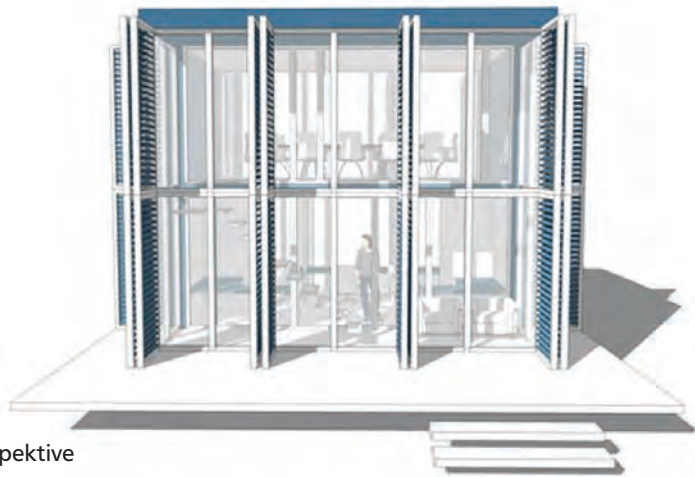


Abb. 1: Perspektive

**Studentische Arbeit: Autarker Büropavillon, Huiwen Shen, WS 2012/2013**

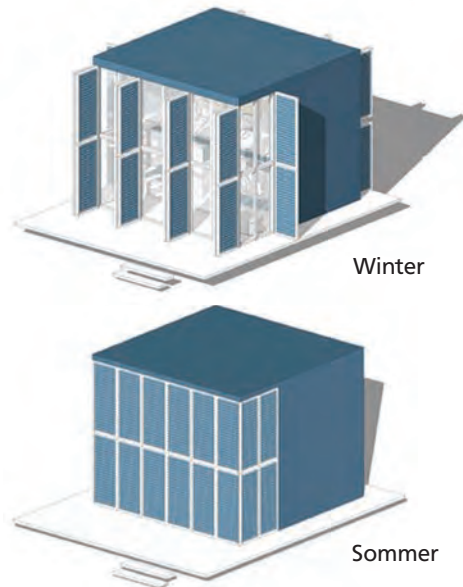


Abb. 2: Sommer - Winter - Adaption

Im Winter wird die äußere Hülle des Gebäudes geöffnet. Dadurch kann die Sonne über eine großflächige Verglasung in das Gebäude gelangen und dort als Wärmeenergie genutzt werden.

Im Sommer wird ein sommerlicher Wärmeschutz notwendig, da die starke Sonneneinstrahlung sonst zu einer Überhitzung der Innenräume führen würde. In diesem Fall dienen bewegliche Lamellen diesem Zweck.

Wichtig für den kompakten Pavillon ist die sogenannte Pufferzone, die den Kubus an zwei Seiten (Süden und Norden) umschließt. Von hier wird die auf der Südseite passiv gewonne-

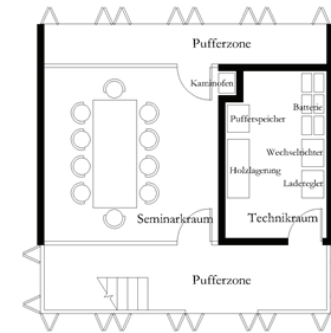


Abb. 3: Grundriss EG

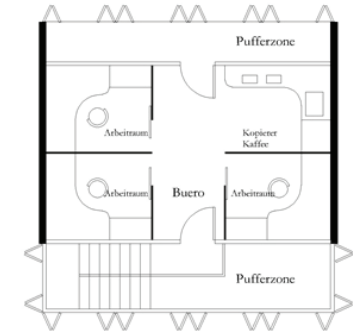


Abb. 4: Grundriss 1OG

ne Wärme in die angrenzenden Räume verteilt. Überschüssige Wärme kann im Winter durch die Lüftungsanlage direkt in die beheizten Räume geleitet werden. Im Sommer verhindert eine Querlüftung der Pufferzone eine Überhitzung der Büroräume.

Ein weiterer Vorteil des Puffers besteht darin, dass so nur zwei Seiten des Kubus Außenfassade sind und damit das zu beheizende Volumen reduziert wird. Aktiv wird Energie über Photovoltaikmodule gewonnen, die auf Dach und Fassade integriert sein können. Überschüssige elektrische Energie wird in einem Batterieblock gespeichert und kann somit bei Bedarf abgerufen werden.

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungssystem sorgt für permanent behagliches Raumklima. Der Wärmerückgewinnungsgrad von

rund 90 % reduziert den Jahresheizwärmebedarf auf ein Minimum, so dass eine Heizungsanlage theoretisch nicht notwendig ist. Ein kleiner Kaminofen kann als redundante Wärmebereitstellung zum Einsatz kommen.

Optional kann die äußere transparente Hülle auch mit semitransparenter Photovoltaik bestückt werden. Auch der Sonnenschutz könnte mit solaraktiven Elementen ausgestattet werden.

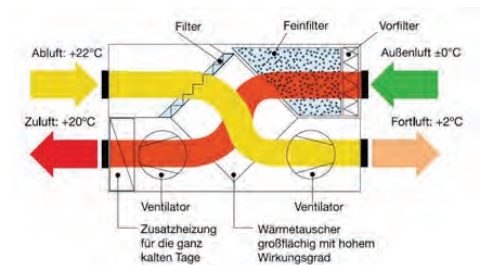


Abb. 5: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

### 3. Lehre



# TUD

Konstruktives Gestalten  
und Baukonstruktion

PROF. ARCHITEKT  
STEFAN SCHÄFER



#### Geschichte des konstruktiven Ingenieurbaus WS 2012 / 2013

VORLESUNG Fr 15.20 – 17.00 UHR L5 06/32  
ÜBUNG Fr 15.20 – 17.00 UHR L5 06/32

Die Geschichte der Ingenieurbauten ist vielfältig und häufig durch konstruktive Erfindungen einzelner Personen oder durch die Entwicklung neuer Materialkomponenten geprägt. In diesem Zusammenhang wird im Wintersemester 2012/2013 die Thematik der Brücken von den Anfängen bis in die heutige Zeit erläutert. Ziel der Lehrveranstaltung ist es, neben der Extraktion technologischer und konstruktiver Entwicklungslinien auch baugeschichtliche und konstruktive Details zu betrachten. Darüber hinaus versteht sich das Modul auch als ein E-Learning-Projekt. So sind Bestandteile der Aufgabenstellung online mit Hilfe eines MediaWiki-Systems zu bearbeiten.

#### EMPFEHLUNG

Die Lehrveranstaltung richtet sich an Studierende ab dem 1. Semester des Master-Studiengangs Bauingenieurwesen. Für die Teilnahme werden Vorkenntnisse in CAD, sowie in den Fächern Baukonstruktion oder Konstruktives Gestalten empfohlen.

#### AUFGABE

- Bestandsaufnahme eines historischen Brückenbauwerks.
- Belegarbeit über die Material-, Konstruktions- oder Entwurfentwicklungen im Brückenbau.
- Konstruktive Gestaltung und Entwurf einer Brücke im historischen Kontext an einem vorgegebenen Standort.

#### ABLAUF

Fr., 19.10.12	Vorlesung - Einführung, Grundlagen der Brückengestaltung
Fr., 26.10.12	Vorlesung - Vorstellung der Teilaufgaben
Fr., 02.11.12	Vorlesung - Brückenbau: Geburtsstunde der Bauingenieure Teil 1
Fr., 09.11.12	Vorlesung - Brückenbau: Geburtsstunde der Bauingenieure Teil 2
Fr., 16.11.12	Vorlesung - Systematik der Brückentragssysteme und Gestaltungsparameter
Fr., 23.11.12	Vorlesung - Grundlegende Tragkonstruktionen und der Bau von Brücken
Fr., 30.11.12	Vorlesung - Konstruktives Durchbilden von Straßenbrücken
Fr., 07.12.12	Vorlesung - Brückenausstattungen
Fr., 14.12.12	Vorlesung - Zwischenpräsentation
Fr., 18.01.13	Entwurfsbetreuung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Fr., 25.01.13	Entwurfsbetreuung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Fr., 01.02.13	Entwurfsbetreuung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Fr., 08.02.13	Entwurfsbetreuung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Fr., 15.02.13	Entwurfsbetreuung / Korrektur zu den Teilaufgaben
Fr., 01.03.13	Abgabe aller Teilleistungen
Fr., 14.03.13	Abschlusspräsentation

Ansprechpartner:  
M. Eng. Robert Burgaß

Petersenstraße 12  
D-84287 Darmstadt  
tel: 06151 / 16-7035  
fax: 06151 / 16-7034

### 3. Lehre



#### 3.6 Geschichte des konstruktiven Ingenieurbaus GKI

Die Geschichte der Ingenieurbauten ist vielfältig und häufig durch konstruktive Erfindungen einzelner Personen oder durch die Entwicklung neuer Materialkomponenten geprägt. Untereinander gibt es, auch mit Querbezügen verschiedener kultureller Epochen, chronologische Zusammenhänge.

Anhand ausgewählter Beispiele von Ingenieurbauwerken, Konstrukteuren, Materialentwicklungen und Konstruktionsprinzipien wird im Wintersemester 2012 / 13 die Thematik der Brücken von den Anfängen bis in die heutige Zeit erläutert. Ziel der Lehrveranstaltung ist es, neben der Extraktion technologischer und konstruktiver Entwicklungslinien auch das baugeschichtliche und baukonstruktive Detailwissen im Bezug

auf den Brückenbau zu festigen. Die dabei vermittelten Grundlagen sind abschließend bei dem Entwurf einer modernen Brückenkonstruktion anzuwenden.

Darüber hinaus versteht sich die Lehrveranstaltung auch als ein E-Learning-Projekt, welches neue Wege des Lernens und Lehrens aufgreift. So sind Bestandteile der Aufgabenstellung online mit Hilfe eines MediaWiki-Systems zu bearbeiten.

Header-Bild:  
<http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/28853420>



Ausarbeitung zum Thema: Fachwerkbrücken, Tino Richter, WS 2011/2012

1.3. Fügetechniken Seite 10 | 28

Gusseisen

Beim Gusseisen ähnelt die Fügetechnik stark der traditionellen Holzverbindungen. Es wird mit einer Art Zapfenlöcher und Keilen gearbeitet (siehe hierzu Bild 7).



Bild 7: Fügetechnik Iron Bridge fertiggestellt 1779 in England, Spannweite 30,5 m [22]

Stahl

Zu den Fügetechniken im Stahlbau gehören Niet-, Schraub-, Schmiede-, Schweiß- und Kiebbeverbindungen.

Wobei die Nietverbindungen wegen ihres hohen Fertigungsaufwandes und schlechter Lösbarkeit nur noch im historischen Brückenbau zu finden sind.



Bild 8: Genietete Brückenkonstruktion [11]



Bild 9: Lichtbogenschweißen [12]

2.1. Tragstrukturen und deren Besonderheiten Seite 12 | 28

Sprengwerk

Beim Sprengwerk liegt der Bundbalken auf einem druckbelasteten Posten oder Kantholz auf (siehe Bild 11). Die Streben leiten die Kraft ebenfalls als Druckkräfte in die Auflager weiter.

Statische Systeme der Fachwerkträger



3.2. Fachwerkbrücken im 19. Jahrhundert Seite 19 | 28

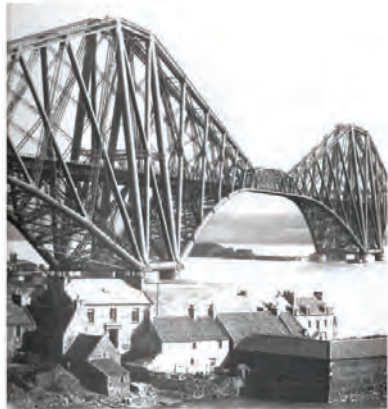


Bild 22: Forth Bridge in Schottland, fertiggestellt im Jahre 1890, Spannweite 521 m [21]

Diese Brücke wird mit ihren 5500 Tonnen Gesamtgewicht vom 6,5 Millionen Nieten zusammengehalten.

Die größten Rohre im Bereich der Brückenpfeiler haben einen Durchmesser vom 3,6 m und wurden aus einzelnen Blechen zusammengenietet [5]



Bild 12: Amerikanische Fachwerksysteme [5] Bild 13: Deutsche Fachwerksysteme [5]

Prinzipiell spricht man von parallelgurtigen Fachwerken (siehe Howe-Fachwerkträger) oder nicht parallelgurtigen Fachwerken (siehe Pauli-Fischbauchträger). Diese Unterschiede werden im oben gezeigten Bild deutlich. Zudem wird zwischen obenliegenden und untenliegenden Fachwerkträgern unterschieden. Beim obenliegenden Träger liegt das Fachwerk über der Fahrbahn und beim untenliegenden darunter.

Abb. 1: Auszug aus der Ausarbeitung zum Thema Fachwerkbrücken, Tino Richter, WS 2011/2012

Studentische Arbeit: Brückenentwurf, Zabi Naser, WS 2011/2012

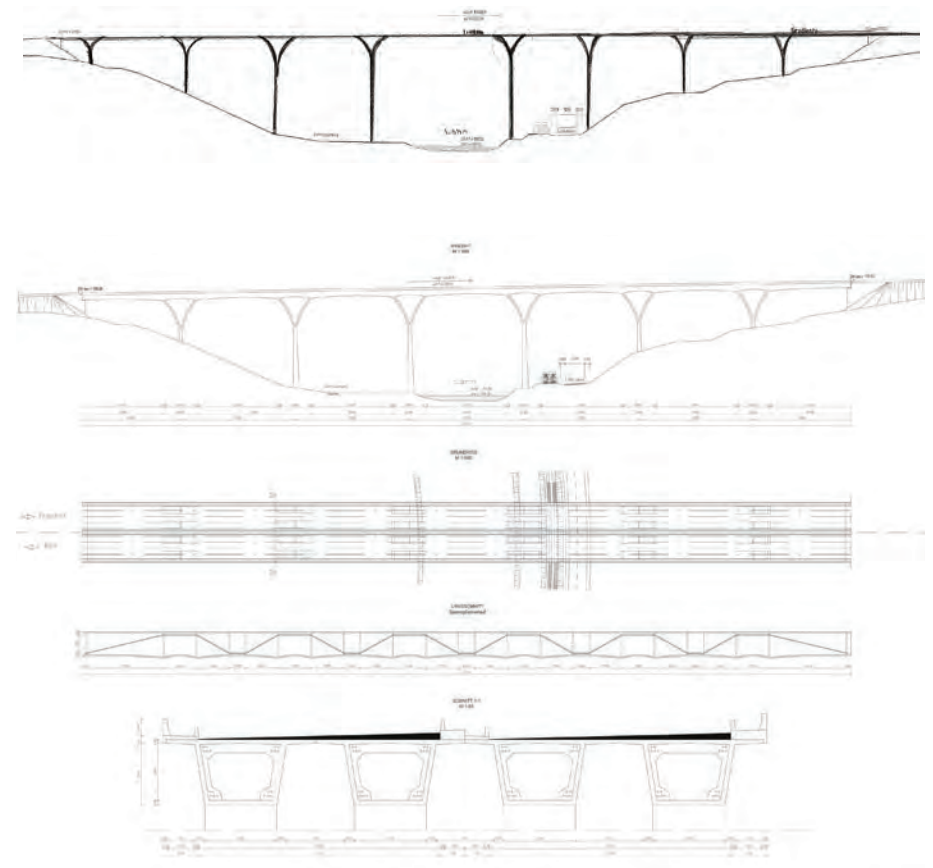


Abb. 2: Auszug aus dem Brückenentwurf Lahntalbrücke Limburg, Zabi Naser, WS 2011/2012

### 3. Lehre



#### 3.7 Interdisziplinäres Projekt Bauingenieurwesen IPBI

Das Projektseminar „Interdisziplinäres Projekt Bauingenieurwesen, (IPBI) bzw. „Interdisziplinäres Projekt Umweltingenieurwissenschaften“ (IPUI) ist ein Modul des ersten Fachsemesters in den Master of Science-Studiengängen.

Die Arbeitsgruppe PEK übernimmt für diese Lehrveranstaltung die Funktion einer zentralen Informations- und Anlaufstelle. Projektaufgaben sowie wichtige Veranstaltungen und Termine werden auf diesen Internetseiten im Bereich Lehre sowie durch Aushang bekannt gegeben.

Die Lehrveranstaltung Interdisziplinäres Projekt ist Bestandteil der Studiengänge:

- Master of Science – Bauingenieurwesen (IPBI) und

- Master of Science – Umweltingenieurwissenschaften (IPUI).

Beide Veranstaltungen werden organisatorisch zusammen angeboten. Inhaltlich orientieren sich die Projekte an den jeweiligen Studiengängen, so dass mindestens zwei verschiedene Projekte, eines für Bauingenieure und eines für Umweltingenieure, angeboten werden. Dieses Modul soll im ersten Fachsemester des jeweiligen Master-Studiums belegt werden.



## Interdisziplinäres Projekt Bauingenieurwesen (IPBI) – WS 11/12

### Ersatzneubau „Carl-Ulrich-Brücke“ über den Main zwischen Offenbach und Frankfurt Fechenheim

Stahlbau, Baubetrieb, Verkehr, Statik, Baukonstruktion, Massivbau

Fachbereich 13  
Bauingenieurwesen  
und Geodäsie

Institut für Baubetrieb  
Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko

IFSW - FG Stahlbau  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

IfV - Fachgebiet Straßenwesen  
Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald

IWMB - FG Statik  
Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider

IFM - Fachgebiet Massivbau  
Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander  
Graubner

KG Bauko - Fachgebiet Kon-  
struktives Gestalten und Bau-  
konstruktion  
Prof. Stefan Schäfer

Datum  
17.10.2011



Abb. 1: Aufgabenstellung IPBI - WS 2011/2012

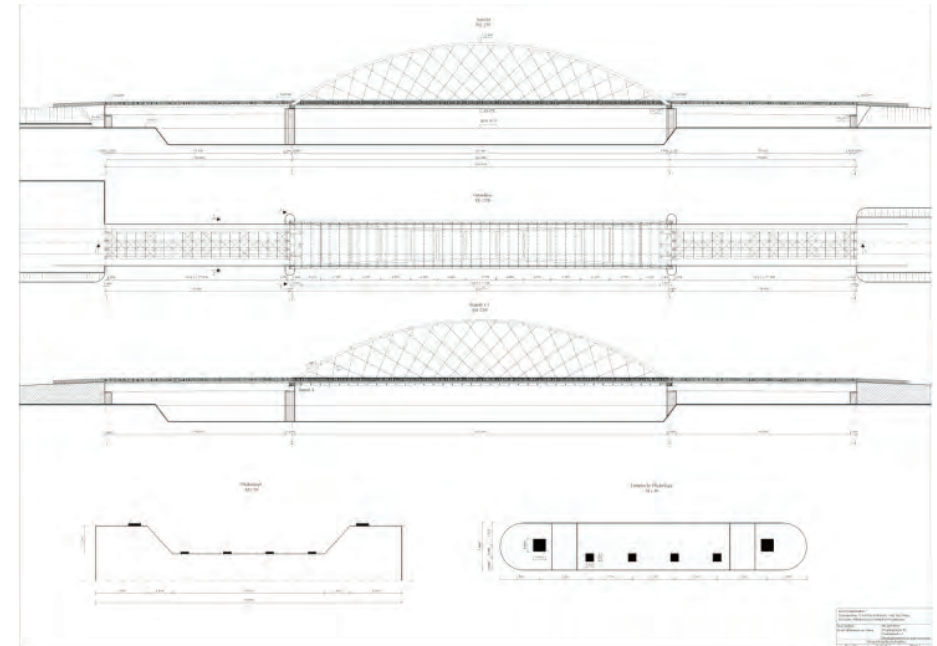


Abb. 2: Ergebnisse studentischer Gruppenarbeit, Konstruktionszeichnungen

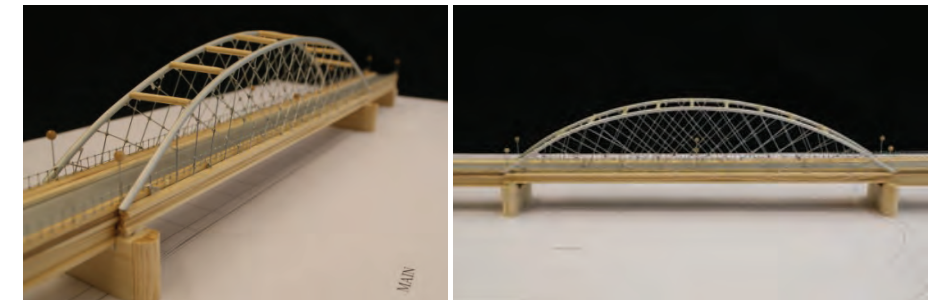


Abb. 3 und 4: Ergebnisse studentischer Gruppenarbeit, Entwurfsmodell

---

### 3. Lehre



#### 3.8 Grundlagen des Planens, Entwerfens und Konstruierens GPEK

---

Die Arbeitsgruppe Planen, Entwerfen und Konstruieren (AG PEK) organisiert die am Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie angebotenen Projektseminare „Grundlagen des Planens, Entwerfens und Konstruierens I & II (GPEK I & GPEK II)“. Diese Lehrveranstaltungen des ersten und zweiten Fachsemesters sollen den Studierenden einen Einblick in das Berufsfeld von Bauingenieuren, Geodäten sowie Umweltingenieuren geben.

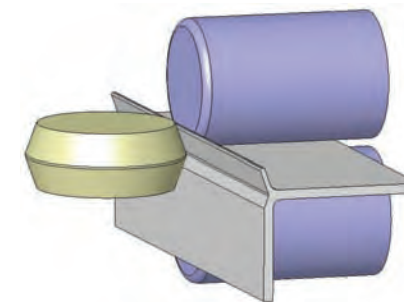
Diese Lehrveranstaltungen werden in Zusammenarbeit mit den Fachgebieten des Fachbereichs Bauingenieurwesen und Geodäsie durchgeführt und betreut. Im Wintersemester wird ein technisch/ verkehrlich/ soziokulturelles Infrastrukturvorhaben bearbeitet, während im Sommersemester

ein Hoch- oder Ingenieurbauwerk Grundlage der Projektaufgabe ist. In GPEK bearbeiten die Studenten innerhalb von Projektgruppen eine an sie gestellte Projektaufgabe.

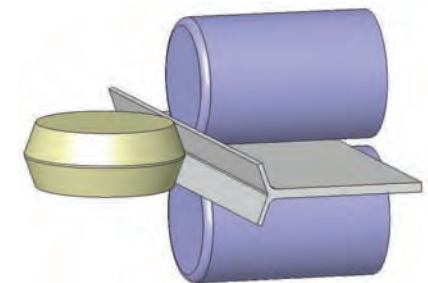
Eine Projektgruppe besteht aus verschiedenen Fachrollen, die am Anfang von jedem Semester von den Studenten gewählt werden kann. Jede Fachrolle bekommt in so genannten Facharbeitstreffen (FAT) den nötigen fachlichen-Input, um dann gemeinsam in der Gruppe mit den anderen Fachrollen, die an sie gestellte Aufgabenstellung zu bearbeiten.



#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



**Spaltbiegen**  
(Spalten aus der Blechmitte)



**Spaltprofilieren**  
(Spalten vom Blechrand)

#### 4.1 Sonderforschungsbereich SFB 666

Durch die Arbeiten des Sonderforschungsbereich 666 „Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung – Entwicklung, Fertigung, Bewertung“ entstehen Methoden und Verfahren, mit denen verzweigte Strukturen aus Blech mit für den jeweiligen Anwendungsfall optimierten Eigenschaften integral hergestellt werden können. Diese Zielsetzung schließt Fragestellungen der Produktentwicklung, der Fertigungstechnologien und der Bauteilbewertung ein. Daher haben sich Wissenschaftler der TU Darmstadt aus den Disziplinen Produktentwicklung, Mathematik, Materialwissenschaften, Produktionstechnik, Betriebsfestigkeit und Bauingenieurwesen zu diesem interdisziplinären Forschungsverbund zusammengeschlossen.

Die erste Phase der Forschungsarbeiten konnte bereits mit innovativen Ergebnissen und faszinierenden Entwicklungen rund um die neuen Blechbauweisen sehr erfolgreich abgeschlossen werden. In der nun laufenden zweiten Phase werden die Forschungsaktivitäten weiter intensiviert und das Spektrum der wissenschaftlich untersuchten Themen und Fragestellungen sukzessive erweitert.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://www.sfb666.de>



#### 4.1.1 Systematische Generierung von Flächentragwerken

Scholeh Abedini, Stefan Schäfer

**Problemstellung:** Moderne Architektur spiegelt sich nicht nur in deren optischer Wahrnehmung wieder, sondern beinhaltet auch vielfältige Anforderungen an deren Einzelteil. Neben der primären Funktion der Tragfähigkeit und dem Witterungsschutz einer Gebäudehülle kommen noch viele weitere Anforderungen hinzu. Dazu zählen beispielsweise nachhaltige, gebäudetechnische, energiegewinnende, ästhetische, montage- und fertigungstechnische Anforderungen. Dies stellt große Herausforderungen an die Planung und Fertigung dieser neuen Bauprodukte. Fortschritte im Bereich der CAD ermöglichen die Bewältigung dieser Herausforderungen auf der Planungsseite. Die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 666 untersuchten Methoden und Verfahren eignen sich hervorragend für die Bewältigung dieser Herausforderungen auf der Fertigungsseite.

**Zielsetzung:** Das Teilprojekt D2 strebt im Rahmen des SFB 666 die „Systematische Generierung von Flächentragwerken unter Zuhilfenahme des Informationsmodells“ an. Dazu werden Anwendungsfelder im Bauwesen

identifiziert und verschiedene Bauteile entwickelt. Die technologieinduzierten Materialeigenschaften und deren Fertigungsverfahren ermöglichen die serielle Fertigung von tragfähigen und gekrümmten Flächentragwerken, die den ästhetischen Anforderungen eines sichtbaren Bauteils im Bauwesen genügen. Ferner können weitere Funktionen in diese Bauteile integriert und somit das bestehende Produktspektrum erweitern werden.

**Vorgehensweise:** Technologische Innovationen im Bereich der Fertigung führen zu einer Vielzahl neuer Möglichkeiten, geben jedoch gleichzeitig Restriktionen bezüglich der Geometrie und der Maße vor. Zur Erstellung von gekrümmten Flächentragwerken ist zu Beginn die Identifizierung von Geometriefamilien und deren Modularisierbarkeit notwendig. Hinsichtlich der globalen Krümmungsgeometrie von Flächentragwerken ergeben sich die Geometriefamilien der ebenen, einsinnig gekrümmten, zweisinnig synklastisch und antiklastisch gekrümmten sowie der Freiformgeometrien (Abb. 1).



Abb. 1: Geometriefamilien: eben, einsinnig, zweisinnig synklastisch und antiklastisch sowie Freiformgeometrie (von links nach rechts)

Die spaltgebogenen Stegbleche besitzen wegen der Materialeigenschaft der Rippen in Verbindung mit deren statisch vorteilhaften Geometrie eine höhere Tragfähigkeit und eignen sich somit besonders für Leichtbauprinzipien. Hierin anschließend sind ferner auch Multifunktionselemente denkbar (Abb. 2).

Die integral erzeugten Rippen können mittels einer Umformung zu Fächern ausgebildet werden und somit diverse Funktionen in einem Bauteil vereinen (Abb. 2 (oben)). Ferner ist es auch möglich neben der Ausbildung der Fächer auch das gesamte Bauteil als Funktionselement zu aktivieren (Abb. 2 (unten)).

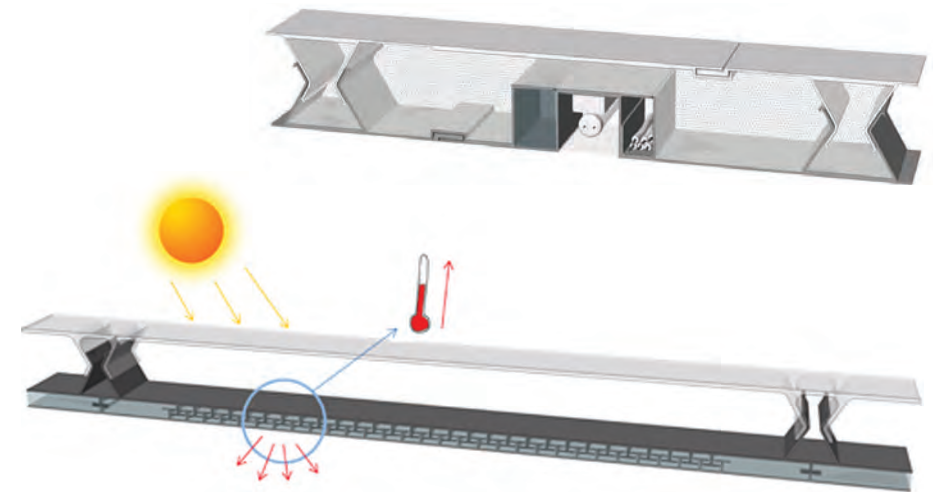


Abb. 2: Multifunktionselement (oben), integral erzeugtes Funktionselement als Solarpanel (unten)

Bei einer Fortführung dieser Systematik ist demnach auch die integrale Erzeugung der Bauteilverbindung kontinuierlich am Bauteil möglich. Diese können zum einen wechselseitig integral am Bauteil erzeugt werden (Abb. 3 (oben)) oder mit einem zusätzlichen Koppelement (Abb. 3 (unten)).

Die aufgezeigten Anwendungsfelder und die Beispiele stellen einen Auszug der möglichen Produktvarianz dar sind Anknüpfungspunkte für vertiefende Betrachtungen.

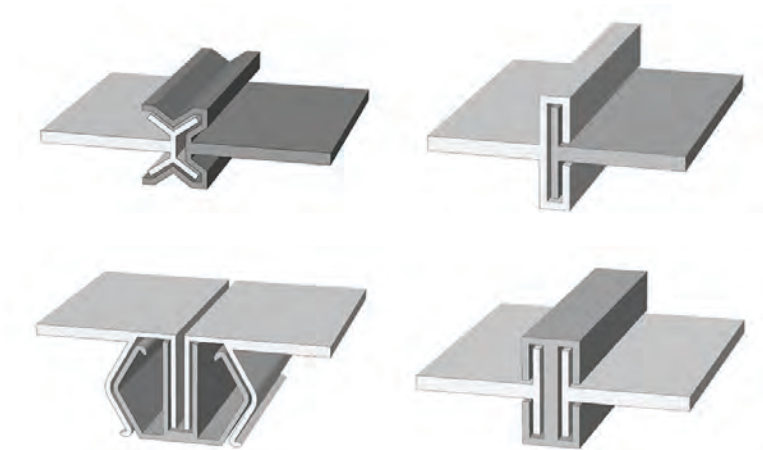


Abb. 3: Integral erzeugte Verbindungstechniken: Wechselseitig am Bauteil (oben), mit zusätzlichem Koppelement (unten)

---

#### Abbildungsnachweis

---

Abb. 1-3 Eigene Grafik

### 4.1.2 Smart Skins

Ante Ljubas, Stefan Schäfer

Seit den Zeiten Herons von Alexandrien (ca. 10-70 n. Chr.) gab es eine Vielzahl von Annäherungen an das Thema automatisierte, kinetische Strukturen im architektonischen Kontext. Zielsetzung war jeweils die Mechanisierung von anderweitig statischen Konstruktionselementen. In einer systematischen Übersicht – ausgehend von beweglichen Verschattungselementen bis hin zu komplett transformierbaren Gebäudehüllen – können mechanisch responsive Gebäudestrukturen bestimmte Aspekte der Gebäudeperformanz optimieren. Implementierungen von Bewegungsprinzipien (Abb. 1) für einzelne Elemente oder strukturelle Gefüge werden hierbei durch bewegliche Lager, Verbindungen und Aktuatoren realisiert.

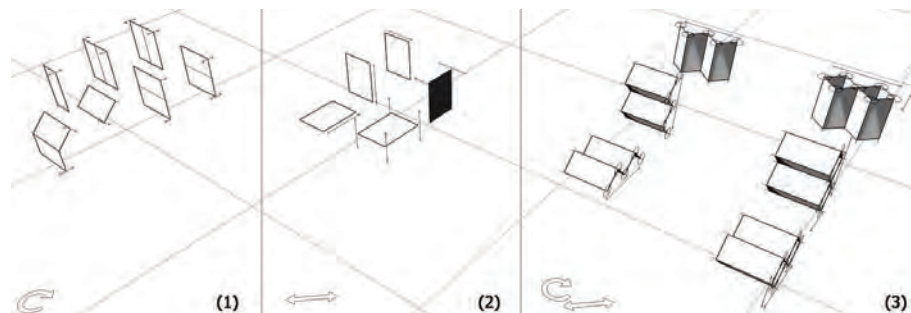


Abb. 1: Rotation (1), Translation (2), Roto-Translation (3)

Die geschichtliche Entwicklung integraler Fassadenkonzepte hat bislang nicht nur Energiekonservierungsprinzipien (Dämmung und Speicherung) verfolgt. So wurden sukzessive auch adaptive Systeme für Heizung, Kühlung und die Energieproduktion eingeführt (Abb. 2). Seit den 1990-ern wurde darüberhinaus eine seit den 1960-ern geforderte Immersion kinetischer Konzepte mit Hilfe von sich rasch entwickelnden Informationstechnologien und dem Fokus auf *smarten Energiekonzepten* realisiert. Ihre Fortentwicklungsversuche bestehen darin, ein komplexes technologisches Level durch die Vermittlung responsiver Konzepte mit wenig kontrollierbaren Nutzergewohnheiten kostengünstig zu erreichen.

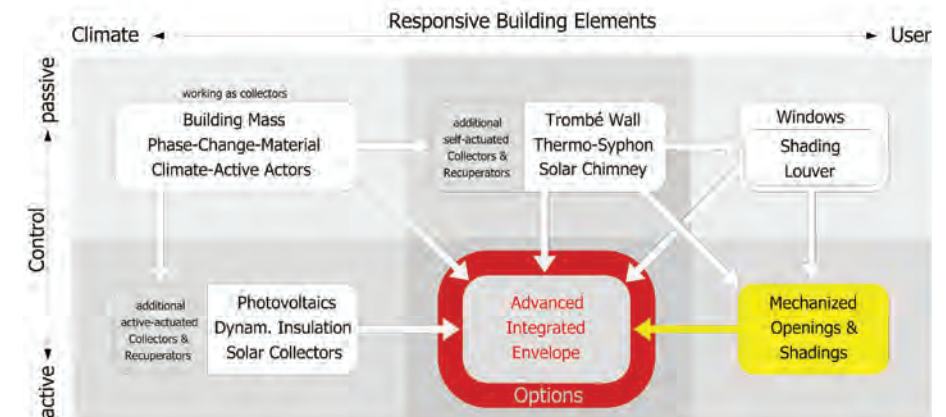


Abb. 2: Fassadenintegrationsmöglichkeiten

Insoweit bergen die in der Forschungsgemeinschaft des SFB 666 untersuchten Produktionstechnologien des *Spaltprofilierens* und *Spaltbiegeprofilierens* interessante Möglichkeiten des Einsatzes für *Smart Skins*. Zusammen mit gängigen Metallnachbearbeitungsschritten können neuartige Verbindungstechniken zur Entwicklung höherer geometrischer Komplexitäten genutzt werden, mit

deren Hilfe *smartes*, responsives Verhalten unter Einsatz ggf. ergänzender Komponenten erzeugt wird. Back-to-Back- und Randverbindungen zur Entwicklung von schichtigen Aufbauten sowie seriellen bzw. Feldgefügen auf Basis von spaltbiegeprofilierten Bauteilen ermöglichen sowohl eine funktionelle Integration als auch kinetisch-funktionale Strukturen (Abb. 3)

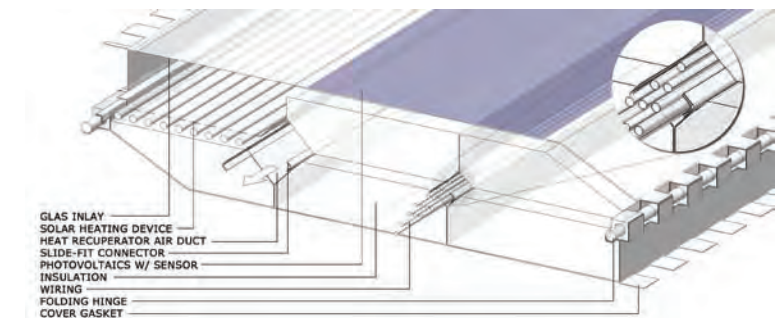


Abb. 3: Exemplarische Funktionsintegrationsmöglichkeiten an einem Bauteil

Ko-produzierte Hohlräume ermöglichen hierzu die Einfassung von Sandwichmaterialien, Verrohrungen, smarter Sensorik mit entsprechender Verkabelung sowie - damit verbunden - den unsichtbaren Einbau von Aktuatoren und anderen mechanischen Komponenten. Mittels spezieller Perforations- (Laserschneiden) und/oder Klebetechniken können schlussendlich selbst die Oberflächen der spaltbiegeprofilierten Bauteile zur Funktionsintegration herangezogen werden (z.B. Bauteiltransparenz durch Klebung transparent-flexibler Photovoltaikfolien). Um die Ökoefizienz zu steigern, sollte das vorgestellte Fügekonzept allein auf Basis lösbarer Verbindungen entwickelt werden, ohne dass dabei evtl. notwendige Kraftschlüssigkeit verloren gehen muss. Bei der Mechanisierung

von Fassadenelementen muß außerdem auch die optimale Dimension der Elemente beachtet werden. Diese hängt mit vom Bifurkationsgrad der spalt(biege)profilierten Komponenten ab, sodass wenige Verzweigungen - in Abhängigkeit der integrierten Funktionalität - prinzipiell zu dünner produzierten Bauteilen führen. Diese lassen sich nun mit optimierten Bewegungslichtraumprofilen und mit dieser Gewichtsersparnis leichter in aktiv adaptive oder sogar autarke Systeme überführen.

Am Beispiel einer Faltfelementierung auf Basis kontinuierlich produzierter und kinetisch angepasster Spaltbiege-Elemente wurde die Mechanisierung technisch nachvollzogen (Abb. 4). Der Faltprozeß wird hierbei durch einen integrierten Aktuator (elektrisch

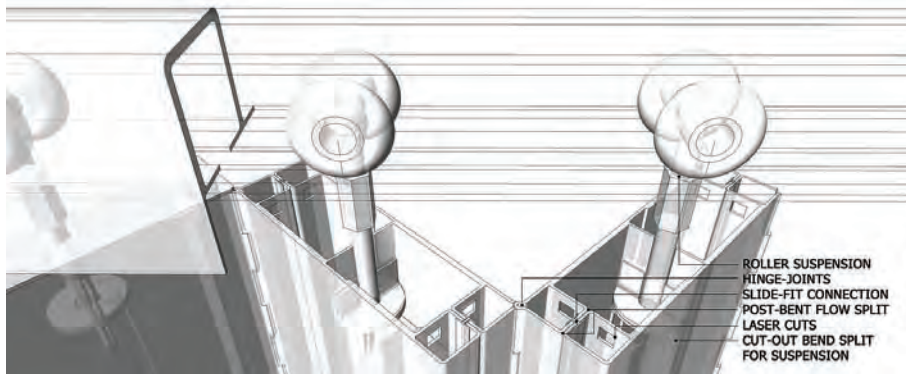


Abb. 4: An einem Rollenlager abgehängte Faltfelemente (Roto-Translationsprinzip)

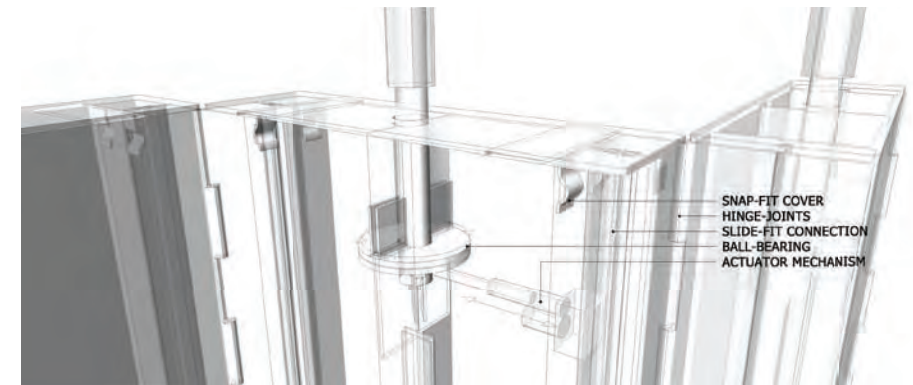


Abb. 5: Darstellung Aktuatortechnik

bzw. thermisch gesteuert) sowie eine abgehängte Kugellagerung initiiert und führt durch die gelenkige Verbindung der Faltelemente untereinander zum Zusammenfallen entlang einer Rollenabhängung (Abb. 5). Weitere auszulotende Kostenoptimierungspotenziale liegen im kleinen Maßstab bei der nochmaligen Reduzierung von Bauteilen im Rahmen der kontinuierlichen Fertigung (Single-Sheet-

Elemente) und dem Einsatz von weniger energieintensiven Nachbearbeitungsschritten. Im großen Maßstab – der Fügestruktur – liegen sie in Mechanismen, die sich mit geringerem Energieaufwand, z.B. mit weniger Aktuatoren (z.B. Rigid Foldables und Bennet Linkages), realisieren lassen sowie der Integration im Rahmen eines Fassadenkonzeptes.

## Quellen

- [1] Abedini, Schäfer: Die Eigenschaftverbesserung von Bauprodukten Eigenschaftverbesserung von Bauprodukten Eigenschaftverbesserung von Bauprodukten durch neue, Tagungsband 4.
- [2] Zwischenkolloquium SFB 666, TU Darmstadt, 2012, S. 1– 8
- [3] Schäfer, Abedini, Groche, Ludwig, Bäcker, Abele, Jalizi, Müller, Kaune: Verbindungstechniken durch die Technologie des SFB 666

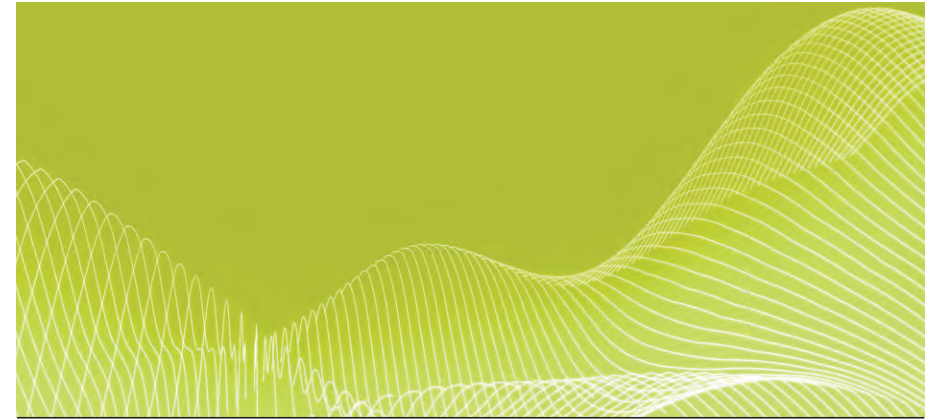
## Abbildungsnachweis

Abb. 1-5 Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Ante Ljubas



---

#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



##### 4.2 Parametrische Prozesse

---

Durch neue Anwendungen in CAD und CAM wird die Erzeugung und Herstellung komplexerer Formen und Volumina möglich. Noch vor einigen Jahren waren die Möglichkeiten eines Architekten – vorausgesetzt er arbeitete mit einem CAD-Programm – auf die gegebenen Grenzen der Software beschränkt. Die heute aktuellen Softwares heben diese Einschränkungen zunehmend auf. Neue CAD-Anwendungen, wie zum Beispiel „Rhinceros“ und das zugehörige Plug-In „Grashopper“, ermöglichen digital entworfene, komplexe und freie geometrische Formen. Decken die vorprogrammierten Tools die Bedürfnisse nicht ab, gibt es die Möglichkeit, sich die benötigten Tools zu „skripten“.

Die Realisierung zukunftsweisen-der Entwürfe wird durch neue Fertigungsverfahren wie z.B. CAM unterstützt. Aber auch in diesem Bereich stößt man noch an Machbarkeitsgrenzen. Ein Problem besteht darin, dass die formgebende Gebäudehülle nur durch eine sehr aufwändige und kostspielige Unterkonstruktion realisiert werden kann. Die Gebäudehülle an sich wird ausschließlich auf die ästhetischen Eigenschaften beschränkt und enthält wenig konstruktive oder bauphysikalische Eigenschaften. Gegenwärtige Architekturtendenzen und das damit einhergehende Materialverständnis erfordert häufig die Verwendung von Stahl. Die dem Material innewohnenden guten Trageigenschaften werden aber häufig nicht vollends ausgeschöpft.

### 4.2.1 Werkzeugbibliotheken zur Approximation von Freiformflächen

Jakob Reising, Stefan Schäfer

Freie, mehrfach gekrümmte Formen spielen in der zeitgenössischen Architektur eine immer größere Rolle. Fortschritte im Bereich von CAD- und CAM-Software erlauben bereits seit einigen Jahren die Planung und Ausführung spektakulärer Entwürfe. Aus dieser neuen Qualität in Entwurf und Planung ergeben sich aber Probleme mit einer adäquaten Fertigung. Während z. B. in der Autoindustrie große Serien hergestellt werden, handelt es sich bei Gebäuden meist um Unikate. In der Autoindustrie können aufwändige Werkzeuge vielfach wiederverwendet werden, ihre teure Herstellung wird durch hohe Einsatzquoten erst rentabel. Individuelle Werkzeuge für Metallfassaden und -dächer müssen in der Regel für einen einmaligen Einsatz hergestellt werden und sind dadurch ein erheblicher Kostenfaktor. Die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 666 neu entwickelten Fertigungstechnologien *Spaltprofilieren* und *Spaltbiegen* bieten mittels integral verzweigten Metallbauteilen Lösungsansätze für diese Herausforderungen. Durch die serielle Fertigung am laufenden Band lassen sich sehr geringe Maß-

toleranzen und eine gleichbleibende Produktqualität erzielen. Zusätzlich ergeben sich Potentiale, die hohen Produktionskosten zu reduzieren. Um diese Vorteile der Serienfertigung zu nutzen, ergeben sich aber auch Anforderungen an die Planung und die Geometrie.

Hieraus resultieren im Bereich der Architekturgeometrie neue Forschungsfelder. Um bei der Generierung von Freiformgeometrien die Vorteile der Serienfertigung zu nutzen, müssen zunächst Lösungen zur Einteilung und Vereinfachung von Tragwerksgeometrien gefunden werden. Das Optimum wäre ein festgelegter Modulbaukasten mit möglichst wenigen unterschiedlichen Teilen. Ein anderer Weg ist es, mit einer Werkzeugbibliothek möglichst allgemein freie Formen abzubilden.

Um diese Aufgabe zu bewältigen, wurden mehrere Scripts in Autodesk Maya entwickelt. Die Krümmung wird in zwei Richtungen auf der Fläche analysiert und mit denen der Werkzeugbibliothek verglichen (Abb. 1 und 2).

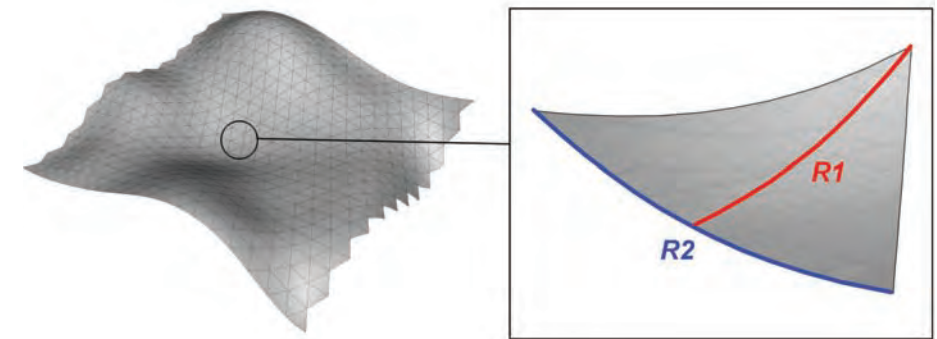


Abb. 1: Analyse und Approximation dreieckiger Flächensegmente

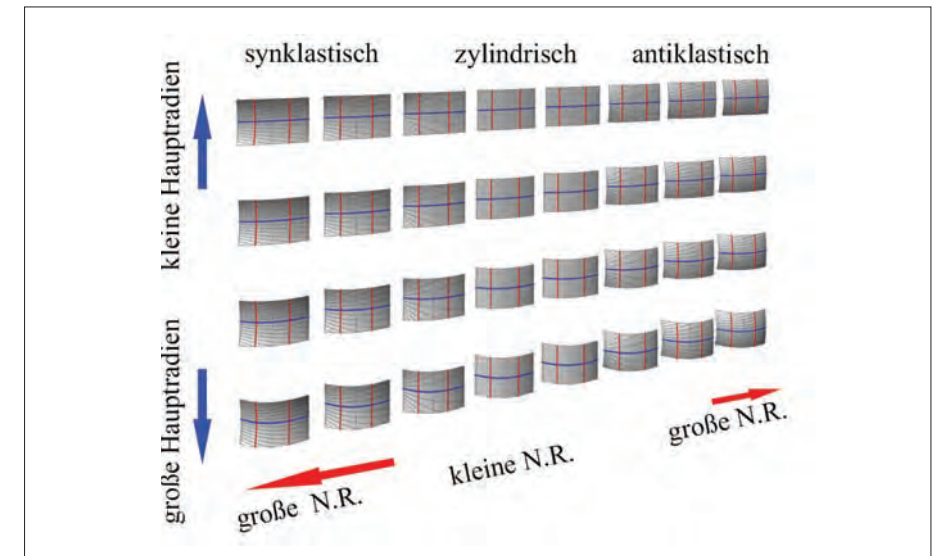


Abb. 2: Beispiel einer Werkzeugbibliothek. Durch Kombination unterschiedlicher Krümmungsradien ergeben sich synklastische und antiklastische Geometrien die mit denen der Ausgangsfläche verglichen werden.

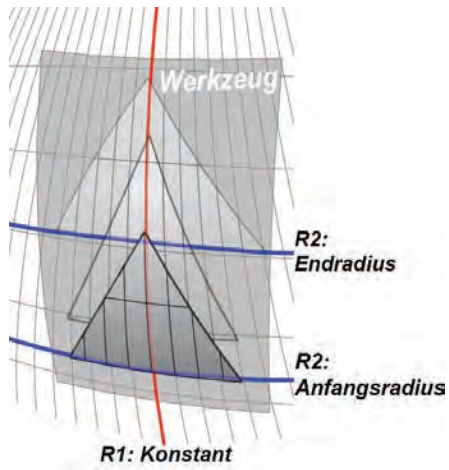


Abb. 3: Durch die Wahl des Ausschnitts kann der zweite Radius justiert werden

Durch die Wahl des Zuschnitts des endgültigen Bauteils können die Radien noch justiert werden (Abb. 3).

Auf diese Weise könnte es möglich werden, die Werkzeuge, die zur Herstellung hoch individueller Gebäude nötig sind, zu standardisieren und für viele Projekte wieder zu verwenden (Abb. 4).

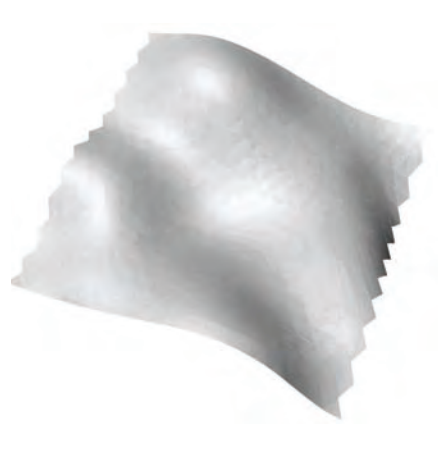


Abb. 4: Mittels dieser Werkzeugbibliothek approximierte Freiformfläche

Eine solche Werkzeugbibliothek würde es erlauben, die Vorteile der Serienfertigung auch auf sog. 0-Serien des Bauwesens anzuwenden. Dies könnte sowohl die Herstellungskosten senken als auch eine gleichbleibend hohe Produktqualität gewähr-

---

#### Abbildungsnachweis

---

Abb. 1 - 4 Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Jakob Reising

---

#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



##### 4.3 Brandschutz im Geschossbau

Der Anteil der Stahltragwerke bei Geschossbauten ist in Deutschland gegenüber dem europäischen Ausland, Asien und Nordamerika klein. Dies ist zum einen auf Vorurteile bezüglich der Kostenstruktur von Hochbauten zum anderen auf die starre deutsche Normung bei der Erfüllung des baulichen Brandschutzes zurückzuführen. Bisher konnten die hohen, pauschal in den Landesbauordnungen der Bundesländer festgelegten Anforderungen des baulichen Brandschutzes an Stahlbauteile nur mit Ummantelungen, Kammerbeton oder zusätzli-

chen Beschichtungen erfüllt werden. Eine ingenieurmäßige Differenzierung unterschiedlicher Bauteile und unterschiedlicher nutzungsbezogener Brandbelastungen eines Gebäudes war nur mit großem Aufwand möglich. Da relativ selten Bürogebäude in Stahl- und Stahlverbundbauweise erstellt werden, verfügen nur wenige Planer über konkrete Erfahrungen hinsichtlich der Ausführungskosten, so dass sich Vorurteile über angeblich hohe Brandschutzkosten hartnäckig halten.



##### 4.3.1 Auszug aus dem Forschungsbericht, Dipl.-Ing. Andreas Hubauer

Geschossbauten wie Bürogebäude oder Wohnungsbauten werden in Deutschland selten in Stahl- oder Verbundbauweise ausgeführt. Die Gründe sind vielschichtig und wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Forschung für die Praxis P 826: Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Stahl im Geschossbau unter besonderer Berücksichtigung des Brandschutzes - Untersuchung von Bürogebäuden in

Stahl- und Verbundbauweise“ detailliert betrachtet. Die Untersuchung fand an zwei, zu diesem Zweck entwickelten Mustergebäuden statt.

Die Abbildungen 1 bis 2 stellen mögliche Ansichten des Mustergebäudes 1 (freistehendes Bürogebäude, Gebäudeklasse 3) sowie Mustergebäude 2 (2-geschossiger Kopfbau vor einer Produktionshalle, Gebäudeklasse 3) dar.



Abb. 1: Frontansicht (links) und Seitenansicht (rechts) Mustergebäude 1, GK 3



Abb. 2: Frontansicht (links) und Seitenansicht (rechts) Mustergebäude 2, GK 3

Das Fazit des Forschungsberichtes: Werden Bürogebäude konsequent in Stahl- und Stahlverbundbauweise erstellt, sind sie - auch wenn Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile gestellt werden - hinsichtlich der Kosten konkurrenzfähig zur Massivbauweise. Eine pauschale Aussage, welche Bauweise unter welchen Voraussetzungen kostengünstiger ist, ist

jedoch nicht möglich. Die Kosten für das komplette Gebäude werden durch die gewählten Konstruktionen und die Rahmenbedingungen bestimmt. Grundsätzlich sind jedoch für sämtliche Bauweisen konkurrenzfähige Lösungen möglich. Welche Bauweise für das jeweilige Objekt kostengünstiger ist, hängt hauptsächlich vom Wissen und der Erfahrung des planenden Architekten bzw. Ingenieurs ab.

##### Quellen

- [1] Hubauer, A.; Lange, J.: FOSTA Forschungsvorhaben P 826: Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Stahl im Geschossbau unter besonderer Berücksichtigung des Brandschutzes - Untersuchung von Bürogebäuden in Stahl- und Verbundbauweise, veröff. vrs. Düsseldorf, 2012
- [2] Hubauer, A.; Lange, J.; Siebers, R.; Hauke, B.: Eco efficiency of structural frames for low rise office buildings, in Koukkari, H.; Branganca, L.; Boudjabeur, S. (Eds.); Concepts and methods for steel intensive Buildings.-S. 55-70, München, 2012
- [3] Hubauer, A.; Lange, J.; Siebers, R.: Bürogebäude in Stahlbauweise - Eine ausgeglichene Bilanz, in industrieBAU, Heft 5/2012, Seite 32 - 35, Merching, 2012
- [4] Lange, J.; Hubauer, A.; Siebers, R.: Ökonomie und Ökologie von Bürogebäuden in Stahlbauweise, in Tagungsband zum Deutschen Stahlbautag 2012; bauforumstahl e.V., Aachen, 2012

##### Abbildungsnachweis

Abb. 1-2 Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Alexander Henze;  
Forschungsbericht: „Forschung für die Praxis P 826: Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Stahl im Geschossbau unter besonderer Berücksichtigung des Brandschutzes - Untersuchung von Bürogebäuden in Stahl- und Verbundbauweise“, Dipl.-Ing. Andreas Hubauer

---

#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



##### 4.4 Bionik im Bauwesen

---

Bionik ist eine Wortkreation aus Biologie und Technik. Die interdisziplinäre Wissenschaft macht sich die im Zuge der Evolution über Jahrtausende optimierten Konstrukte der Natur, wie Insektenflügel, Blattstrukturen, Oberflächen u.v.a.m. zunutze.

Welche Rolle kann die Bionik im Bauwesen übernehmen? Einfache Fragestellungen bekommen durch einfache kausale Veränderungen eine vollkommen neue Dimension. So birgt beispielsweise die Frage nach dem Leichtbau im Bauwesen zum Einen die Suche nach dem Wo und zum Anderen nach dem Wie. Primär sehen

wir darin eine gewisse elitäre Geisteshaltung, die in der Natur faktisch evolutionsbedingt und in jedem Fall optimiert ist. Dort gibt es keine gestalterisch willkürlichen Zwänge. Im Rahmen unserer Aufgabenstellungen versuchen wir, diese willkürlichen Zwänge auszublenden und das jeweilige Optimum herauszuarbeiten. Wir laden Sie ein, daran teilzunehmen. Die unterschiedlichen Fragestellungen werden dabei in den einzelnen Lehrveranstaltungen (GPE, Baukonstruktionen, Konstruktives Gestalten, Sonderfragen Baukonstruktion) anhand der jeweiligen Aufgabenstellungen betreut.

---

##### 4.4.1 Tragwerke in der Natur als Ideengeber für den Leichtbau

---

Adrian Zimmermann, Stefan Schäfer

Steigende Materialkosten, erhöhte Anforderungen an die Tragfähigkeit und architektonische Anforderungen haben die Forschung auf dem Gebiet des Leichtbaus in den vergangenen Jahren vorangetrieben. Dabei stellte sich die Bionik als eine effektive Methodik zur Entwicklung innovativer Tragwerke heraus. Als Resultate seien exemplarisch das *Eden Project* von R. B. Fuller [1], das *Musikpavillon* in Sassnitz von Ulrich Müther [2] und der Entwurf *Exit Curve* [3] einer Studentengruppe der TU-Wien genannt. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil interessanter, Lösungsansätze der Natur bisweilen noch unzureichend hinsichtlich seiner technischen Nutzbarkeit untersucht worden ist. Darum ist es innerhalb



Abb. 1: Musikpavillon Kurmuschel

der Forschungstätigkeit von KGBauko ein Anliegen, bionische Potentiale zu identifizieren, zu analysieren und zu bewerten. Von Interesse sind unter anderem die Skelette diverser Meeresbewohner wie die von Seeigeln, Muscheln und Glasschwämmen.



Abb. 2: Eden Project



Abb. 3: Phyllacanthus imperiali

Die Plattentopologie des Seeiegels *Phyllacanthus imperiali* ist nicht nur ästhetisch reizvoll, sondern auch hinsichtlich ihrer funktionalen und mechanischen Konzepte höchst aufschlussreich. Hinsichtlich ihrer funktionalen Konzepte, da sie das Wachstum eines Skeletts ermöglicht; hinsichtlich ihrer mechanischen Konzepte, da sie die aus den Stacheln einwirkenden Einzellasten hervorragend in das Tragwerk einleitet und verteilt. Eine gelenkige Lagerung der Stachel ermöglicht dabei die Vermeidung zu großer ungünstiger Momen-

tenbeanspruchungen. Im Bauwesen könnte das Konzept des Seeiegels beispielsweise eingesetzt werden, um Einzellasten aus Fassadenankern in leichte Unterkonstruktionen einzuleiten. Für Letztere eigneten sich insbesondere dünne, modularisierte Freiformtragwerke aus Blech, wie sie derzeit in einem Teilprojekt des Sonderforschungsbereichs 666 der TU Darmstadt untersucht werden. Diese könnten mit einer transparenten Voratzschale versehen werden, um solare Wärmeeinträge zu erzielen.



Abb. 4: Hippopus hippopus

Die Muschel *Hippopus hippopus*, auch *Pferdehufmuschel* genannt, erscheint alles andere als filigran. Leichttragwerke zeichnen sich jedoch durch

das Verhältnis ihrer Tragfähigkeit zu ihrem Eigengewicht aus und hierin sticht sie hervor. Ihr Konzept: Im Gegensatz zu anderen Muscheln ist

ihre Schalenstärke nicht nur längst der Rippen, sondern auch senkrecht dazu extrem inhomogen. Sie verfügt über sehr starke Rippen mit gedrun- genen Querschnitten, die über relativ leichte Gewölbe miteinander verbun- den sind. Gratgewölbe mit verstärkten Graten sind nicht neu. Innovativ dagegen ist, dass die Rippung nicht mittels einer Unterkonstruktion, son- dern durch eine bereichsweise diche- tere Faltung der Schale erzielt wird.

Zudem nimmt die Rippenstärke mit zunehmendem Abstand vom Schloss zu, während gleichzeitig die Scha- lenstärke abnimmt. Durch diese in- homogene Massenverteilung längst der Rippen werden die Momente im Schloss infolge des Eigengewichts der Klappen minimiert. Umsetzen ließe sich dieses Konzept beispielsweise zur Herstellung horizontal auskragender Bauwerke wie Konzertpavillons oder zur Überdachung von Sportstadion.



Abb. 5: Euplectella aspergillum

Bei *Glasschwämmen* handelt es sich um eine Klasse aus dem Stamm der Schwämme, die extrem leichte und stabile Nadelkonstruktionen aus amorphem Siliziumdioxid hervor- bringt. Seiner Größe und Skelett- struktur wegen besonders beeindru- ckend präsentiert sich der *Euplectella aspergillum*, der gemeinhin als *Gieß- kannenschwamm* oder als *Venus- körbchen* bekannt ist. Die Tiefsee als Lebensraum verlangt ihm einerseits einen äußerst sparsamen Einsatz von Material ab; andererseits stellt die

mechanische Beanspruchung durch Tiefseeströmungen hohe Anforderun- gen an die Tragfähigkeit der Skelett- struktur.

Forscher des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam, der Bell Laboratories in New Jersey und der Universität Ka- lifornien haben die Konstruktion be- reits hinsichtlich ihrer Tragwirkung analysiert [4]. Es stellte sich heraus, dass die Tragfähigkeit aus einem Zusammenspiel unterschiedlichster

Konzepte resultiert. Diese reichen von der Verbindung der einzelnen Fasern im mikroskopischen Bereich über sie- ben Bauebenen hinweg zu Ausstei- fungen mittels diagonal angeordneter Rippen im makroskopischen Bereich. Während einige dieser Konzepte wie beispielsweise Fachwerke längst kon- ventionell im Bauwesen eingesetzt werden, ist deren gleichzeitige Wir- kung aus ingenieurtechnischer Sicht bisher kaum beleuchtet und baulich realisiert worden. Hieraus ergeben sich weitere enorme Potentiale für den Leichtbau.

Unzählige weitere Leichtbaukonzep- te halten Muscheln, Pflanzenstängel und Insekten-skelette bereit. Die na- türliche Evolution ist dem techni- schen Fortschritt um Jahrmillionen voraus. Schon allein deshalb ist mit einer steigenden Relevanz der Bio- nik in diversen Forschungsdiszipli- nen, darunter auch im Bauwesen und speziell im Leichtbau, zu rechnen. Die Erkenntnisse der letzten Jahre haben zudem einen konkreten Vor- geschmack auf das gegeben, was die Zukunft erwarten lässt: Eine große Vielfalt materialsparender Tragwer- ke, die auch ästhetischen Ansprüchen genügen.

---

#### Quellen

- [1] [www.edenproject.com](http://www.edenproject.com) [aufgerufen am 04.12.2012]
- [2] Rahel Lämmle, Michael Wagner: „Ulrich Muther. Schalenbauten in Mecklenburg-Vorpommern“, Verlag Niggli AG, Sulgen/Zürich
- [3] [www.gat.st](http://www.gat.st) [aufgerufen am 04.12.2012]
- [4] [www.fona.de](http://www.fona.de) [aufgerufen am 04.12.2012]

---

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1 Axel Mauruszat; veröffentlicht in Wikimedia Commons
- Abb. 2 Jürgen Matern; veröffentlicht in Wikimedia Commons unter CC-BY-SA
- Abb. 3 Eigene Grafik, Adrian Zimmermann
- Abb. 4 Eigene Grafik, Adrian Zimmermann
- Abb. 5 Eigene Grafik, Adrian Zimmermann



#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



#### 4.5 Green Building Design

Laut Energiekonzept der Bundesregierung sollen 20% der Primärenergie bis 2020 und 50% bis 2050 gegenüber dem Vergleichsjahr 2008 eingespart werden. Die Energieumwandlung aus Sonnen-, Wasser- und Windkraft ist der größte Hoffnungsträger für kohlenstofffreie Energiebereitstellungssysteme. Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch 18% betragen. Die un stetige Verfügbarkeit und die noch ungelöste Speichereffektivität lassen noch viel Spielraum für breitgefächerte Forschungstätigkeiten. Nach wie vor ist also ein möglichst sparsamer Energieverbrauch die primäre Handhabe zur Energieminderung und somit CO<sub>2</sub> Emissionen in die Atmosphäre zu verringern. Solaraktive Gebäudehüllen können den Primärenergiebedarf und den

CO<sub>2</sub> Ausstoß von Wohngebäuden deutlich reduzieren. Große südorientierte Fensterflächen stellen z.B. bei Passivhäusern eine der wichtigsten Wärmequellen dar. Mehrfachverglasungen mit niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) und möglichst hohen Energiedurchlassgraden (g-Wert) wirken sich positiv auf die Jahreswärmeenergiebilanz aus. Im Vergleich zu opaken Bauteilen stellen die Transparenten aber immer noch Schwachpunkte dar. Transparente Bauteile können durch Adaption weiter optimiert werden. Gerade unbeheizte Glasverbauten haben positive Einflüsse auf den Jahresheizwärmebedarf. Es muss lediglich weiter an einer effizienten Speicherung solarer Energiereserven geforscht werden.

---

##### 4.5.1 Solargewinnfassaden

---

Jens Herbert, Stefan Schäfer

In Deutschland wird noch immer in etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs für die Raumheizung aufgewendet. Für die Errichtung und den Umbau von Gebäuden werden in etwa 50 % der Rohstoffe benötigt. Der Gebäudebereich trägt 60 % zum Abfallaufkommen bei.<sup>1</sup> Wohngebäude verursachen aufgrund der großen Anzahl den größten Anteil an dem Energieverbrauch und den Emissionen. Allerdings entsteht lediglich die Hälfte der Emissionen vor Ort. Die zweite Hälfte entsteht bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern in Kraft- und Heizwerken bei der Erzeugung von Strom oder Fernwärme. Ein Großteil des Wohngebäudebestands, in etwa 70 %, ist älter als 30 Jahre. Zu dieser Zeit existierten keine wesentlichen Anforderungen an die Energieeffizienz und Energieeinsparung. Die regelmäßigen jährlichen Sanierungsquoten liegen unter einem Prozent, so dass eine energetische Ertüchtigung aller Bestandsgebäude gut 100 Jahre lang dauern würde.<sup>2</sup>

Innovative und kosteneffiziente Sanierungsvarianten könnten Immobilienbesitzer zum Handeln bewegen.

In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen meiner Forschungsarbeit zunächst verschiedene Sanierungsvarianten und deren Potenzial zur Senkung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  anhand eines Referenzhauses untersucht. Eine energetische Ertüchtigung trägt zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs bei. Kritiker der Wärmedämmung bemängeln immer wieder, dass aufgrund der Dämmung solare Wärmeeinträge durch die Fassade nicht nutzbar wären. Außerdem ist die Fragestellung der Rezyklierung der gigantischen Menge an Wärmedämmschäumen nach ihrer Anwendungsphase noch ungeklärt. Gerade die Potenziale von stark sonnenbestrahlten Gebäude - Südfassaden bleiben weitestgehend ungenutzt. Eine sogenannte „Solargewinnfassade“ bietet bei dieser Fragestellung nützliche Ansatzpunkte.

---

<sup>1</sup> Vgl.: H.-D. Hegner: Gebäudestandards der Zukunft durch nachhaltiges Bauen entwickeln. In: Mauerwerk 13 (2009) Heft 4, S. 170.

<sup>2</sup> Vgl.: K. Voss, E. Musall: Nullenergiegebäude, Detail Green Books, S. 10.

Solargewinnfassaden sollen durch aktive Nutzung solarer Strahlung die Energieeffizienz verbessern. Dies geschieht einerseits durch die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste und andererseits durch eine großflächige Aktivierung sonnenbeschienener Hüllflächen. Transparente Baustoffe wie beispielsweise Isoliergläser oder Polycarbonatplatten besitzen die Fähigkeit, die Strahlung der Sonne zu nutzen und an den Innenraum in umgewandelter Form abzugeben. Die kurzwellige Strahlung des Sonnenlichts kann die Verglasung passieren. Trifft die Strahlung dann auf eine Oberfläche im Innenbereich, so wird sie dort absorbiert und durch Effekte der Wellenlängenbrechung als langwellige Strahlung wieder emittiert. Die langwellige Strahlung kann die Verglasung jedoch nicht passieren. Es findet somit eine Erwärmung des Innenraumes statt. Dieses Phänomen bezeichnet man als *Treibhauseffekt*.

Die Solargewinnfassade wird vor einer bestehenden Fassade angebracht. Die Luft im Zwischenraum zwischen einem Fassadenelement und der bestehenden Außenwand wird durch die Sonneneinstrahlung erwärmt. Diese Luft wird im Bedarfsfall über Luftkollektoren abgeführt und zur Temperierung des Gebäudes heran-

gezogen. Die Potenziale einer solchen Fassade wurde anhand eines realen Referenzhauses in der Nähe von Darmstadt betrachtet. Zur Berechnung wurde die DIN 4108 Teil 6 herangezogen. Basierend auf der Sanierungsvariante „Best Two“, also der Sanierung der thermischen Gebäudehülle mittels Wärmedämmverbundsystem und Kellerdeckendämmung, wurden auf der Südseite des Referenzhauses eine Solargewinnfassade (Annahme  $U=0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $g=0,6$ ) angedacht und der Heizenergiebedarf erneut mittels des Monatsbilanzverfahrens bestimmt. Der Gesamtjahresheizwärmebedarf konnte bei dem betrachteten Gebäude im Vergleich zu der Sanierungsvariante „Best Two“ nochmals um 13 Prozentpunkte reduziert werden (Abb. 1).

Zur praktischen Umsetzung wurde in einem ersten Schritt von mir die „Solar-Win-Fassade“ angedacht. Auf der bestehenden Außenwand wird eine Konterlattung angebracht, deren Zwischenräume mit einer Wärmedämmung z.B. Mineralwolle aufgefüllt werden. Die Lattung weist eine Stärke von 60 mm auf. Auf der Lattung werden im Abstand von 60 mm 4 - Kammer - Paneele z. B. aus Polycarbonat angebracht. Der Zwischenraum ist mit Luft gefüllt.

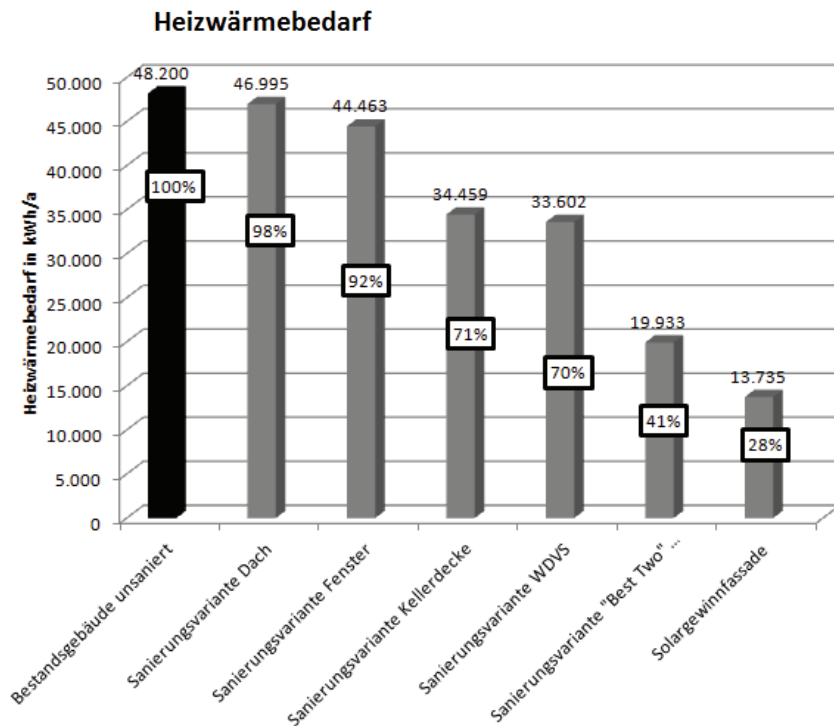


Abb. 1: Auswirkungen der einzelnen Sanierungsvarianten auf den Heizwärmebedarf

Die „Solar-Aktiv-Fassade“ (Abb. 3) stellt eine Weiterentwicklung der Solar-Win-Fassade (Abb. 2) dar, die die Möglichkeit zum aktiven Eingreifen bietet. Auf dem bestehenden Mauerwerk wird eine Konterlattung angebracht, deren Zwischenräume mit Wärmedämmung aufgefüllt werden. Um ein Herausfallen der Wärmedämmung zu verhindern, wird

über dieser Schicht eine schwarze Folie gespannt. Die Folie verstärkt aufgrund der Farbwahl die Absorption der eintreffenden Sonnenenergie. Auf die bereits bestehende Lattung wird eine zweite angebracht, deren Zwischenräume mit Aktivelementen, z.B. Lamellen, versehen sind. Diese Aktivelemente sind in einer horizontalen Stellung angeordnet und auf

der Oberseite schwarz eingefärbt. In den Sommermonaten wird die Stellung der Lamellen geändert, so dass diese vertikal angeordnet sind. In dieser Stellung zeigt die helle Unterseite der Lamellen nach außen. Um eine Überhitzung des Gebäudes zu verhindern, können die in die Fassade integrierten Lüftungsklappen geöffnet werden. Auf diese Weise kann eine natürliche Zirkulation stattfinden.

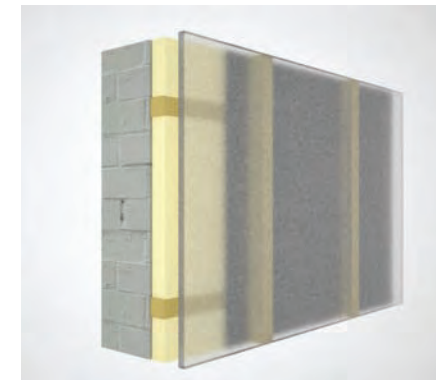


Abb. 2: Isometrie einer Solar-Win-Fassade

Aufbau einer Solar-Win-Fassade von innen nach aussen:

- Mauerwerk (Bestand)
- Wärmedämmschicht mit horizontaler Konterlattung
- Fassadenbahn (Kunststoffolie)
- Vertikale Lattung mit Luftschicht
- Vier-Kammer-Platten aus Polycarbonat, transluzent

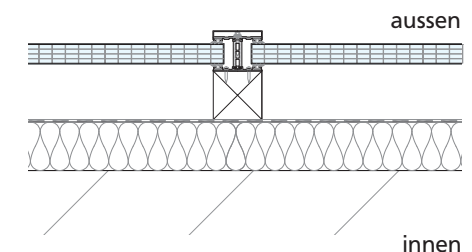
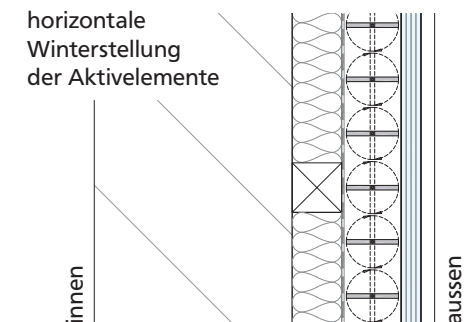
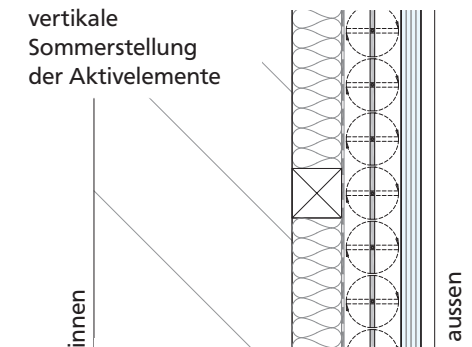


Abb. 3: Vertikalschnitt einer Solar-Aktiv-Fassade mit Aktivelementen zwischen der Vertikallattung (oben), Horizontalschnitt (unten)

Berechnungen haben gezeigt, dass Solargewinnfassaden in Verknüpfung mit konventionellen Sanierungsvarianten höhere energetische Einsparpotenziale aufweisen. Die solaren Gewinne auf der Südseite werden aktiv genutzt. Die restliche Außenhülle des Gebäudes ist aufgrund konventioneller Sanierungsmaßnahmen gegenüber Wärmeverlusten besser geschützt. In einem nächsten Schritt sollen die mittels vereinfachten Bilanzierungsmethoden nach DIN 4108-6 Ergebnisse anhand einer dynamischen Gebäudesimulation überprüft werden.

Eine weitere Aufgabe zur Optimierung dieser innovativen energetischen Ertüchtigungsmaßnahme liegt in der baupraktischen Umsetzung von Fassadenelementen. Wichtige

synergetische Aspekte liegen grundsätzlich in der äußeren Hülle verborgen. Beispielsweise könnte hier eine semitransparente Photovoltaikhülle Strom erzeugen und zusätzlich wichtige Wetterschutzfunktionen übernehmen. Darüber hinaus führt die Prozesswärme im Luftraum indirekt zu einer Minimierung der Transmissionswärmeverluste des Gebäudes.

Schließlich sollten Prototypen der Fassadensysteme angefertigt werden, um gerade bei der Solar-Aktiv-Fassade die praktische Handhabung näher zu untersuchen. Letztlich ergeben sich die tatsächlichen Potenziale eines solchen Fassadensystems im Rahmen einer praktischen Anwendung, z.B. in Form eines real gebauten Referenzhauses.

---

#### Quellen

---

- [1] H.-D. Hegner, Gebäudestandards der Zukunft durch nachhaltiges Bauen entwickeln, Mauerwerk 13 (2009) Heft 4
- [2] K. Voss, E. Musall, Nullenergiegebäude - Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten, Detail Green Books, München, 2009
- [3] A. Tersluisen, Konzept zur Planung und Bewertung wärmeenergiegewinnender, energetisch dynamischer Bauteil- und Raumstrukturen im Wohnungsbau, Dissertation am FB Architektur der TU Darmstadt, 2012

---

#### Abbildungsnachweis

---

Abb. 1: Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Jens Herbert

Abb. 2: Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Irene Root

Abb. 3: Eigene Grafik, Dipl.-Ing. Irene Root

---



#### 4. Aktuelle Forschungsvorhaben und Fachartikel



##### 4.6 Bauen im Bestand

Mehr als 60 % der heutigen Bauleistungen werden im Bestand erbracht und es ist davon auszugehen, dass in Zeiten hoher energetischer Anforderungen an Wohngebäude der Umfang von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen auch zukünftig steigen wird.<sup>1</sup> Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang denkmalgeschützte Bausubstanz, denn die Fragen zur Energieeffizienz machen auch vor historisch wertvollen Gebäuden nicht halt. An dieser Stelle möchte das Forschungsprojekt - Bauen im Bestand - ansetzen und aktuelle Fragestellungen aus dem Spannungsfeld von Denkmalschutz, Baukonstruktion und Bauphysik beantworten.

Die Schwerpunkte unserer Forschungstätigkeit beziehen sich dabei auf die nachfolgenden Themenbereiche.

1. Darlegung denkmalpflegerischer Rahmenbedingungen mit Anforderungen und Zielen bei der energetischen Ertüchtigung von historisch wertvoller Bausubstanz.
2. Untersuchung der realistischen Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden unter Berücksichtigung von Konstruktion, Lage, Jahreszeit und weiteren Einflussfaktoren.
3. Ermittlung der tatsächlichen Auswirkungen von feuchtigkeitsbelastetem Mauerwerk auf die Wärmeverluste und die Energiebilanz eines Baudenkmals.
4. Zusammenfassung von Handlungsempfehlungen zur dauerhaften Austrocknung und energetischen Ertüchtigung historischer Außenwandkonstruktionen.

Darüber hinaus sollen durch das Forschungsprojekt Impulse für ambitionierte Konzepte zur Ertüchtigung von Baudenkmalern gegeben werden, die sowohl energetische, als auch denkmalpflegerische Gesichtspunkte vereinen.

---

<sup>1</sup> Vgl.: Hochbauprognose 2012 von OC & C Strategy Consultants

---

##### 4.6.1 Wechselbeziehungen von Feuchte- und Wärmeschutz im Baudenkmal

---

Robert Burgaß, Stefan Schäfer

Mit der stetigen Novellierung der EnEV wachsen nicht nur die energetischen Anforderungen an Neubauten, sondern auch an Bestandsgebäude. Ausgenommen davon sind lediglich Baudenkmäler und sonstige besonders erhaltenswerte Bausubstanz.<sup>1</sup> Dennoch können sich diese Bauwerke den heutigen energetischen Anforderungen nicht gänzlich entziehen. Auch sie müssen einem hygienischen Raumklima, geringen Wärmeverlusten und niedrigen Kosten für Heizung und Kühlung gerecht werden.<sup>2</sup>

Die energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle ist hier ein wichtiger Aspekt, um diese Anforderungen zu erfüllen (Abb. 1 und 2). Jedoch gehen nachträgliche Wärmedämm-Maßnahmen nicht nur mit einer Verbesserung des Wärmeschutzes, sondern zumeist auch mit Auswirkungen auf den Feuchteschutz einher. Diese Wechselbeziehungen möchte der folgende Beitrag aufgreifen und erläutern. In bauphysikalischer Hinsicht stellt die außenseitig aufgebrachte Wärmedämmung die optimale Ertüchtigungsvariante für die Umfassungswände eines Bestandsgebäudes dar.



Abb. 1 und 2: Wärmeverluste eines Baudenkmals nach Modernisierung des 1. Obergeschosses (Innendämmung)

Die tragende Wandkonstruktion ist gleichmäßig ummantelt, lückenlos gedämmt und indessen Folge nur geringen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Gleichzeitig übernehmen die Außenwände eine temperaturregulierende Funktion, indem das Wärmespeichervermögen des Bauteils erhalten bleibt (Abb. 3). Auch die Bildung von Tauwasser kann im Inneren von Wandkonstruktionen effektiv verhindert werden, wenn der Wasserdampfdiffusionswiderstand der einzelnen Bauteilschichten von innen nach außen abnimmt und der Wärmedurchlasswiderstand von innen nach außen zunimmt.<sup>3</sup>

Dennoch verweist die Fachliteratur auf modernisierte Bestandsgebäude, bei denen trotz einer sorgfältigen Planung der Schichtenfolge eine erhöhte Feuchtigkeitsbelastung der Außenwände vorlag.<sup>4</sup> Zurückzuführen ist dies weniger auf Wasserdampfdiffusionsvorgänge, sondern eher auf Undichtigkeiten in der Gebäudehülle, wie sie z.B. durch einen mangelhaft ausgeführten Innenputz entstehen. Diese Fehlstellen gewährleisten ein Durchströmen der Konstruktion mit warmer bzw. feuchter Raumluft, welche daraufhin in den kühlen Mauerwerksbereichen kondensiert.

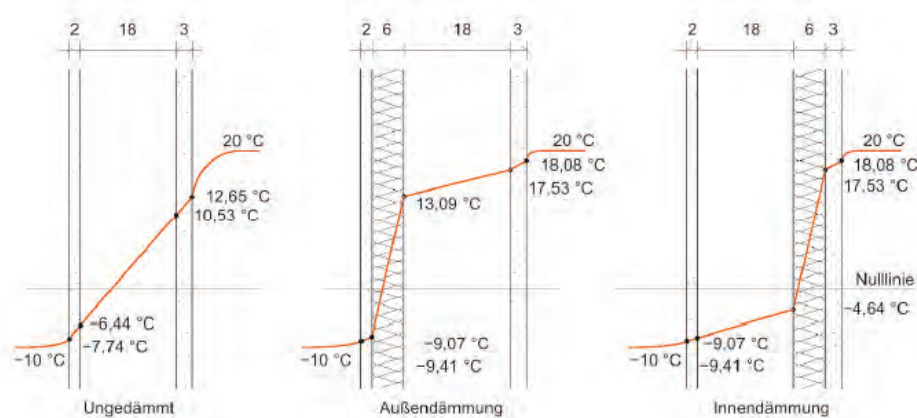


Abb. 3: Schematische Darstellung des Temperaturverlaufs bei unterschiedlichen Wandaufbauten

Dies hat zur Folge, dass sich auch bei Wänden mit Außendämmung eine erhöhte Feuchtigkeitsbelastung einstellen kann, die einerseits zur Schädigung der Konstruktion (z.B. bei Fachwerk) und andererseits zu erhöhten Transmissionswärmeverlusten führt. Daher ist es notwendig, auch bei der Planung eines außenliegenden Wärmeschutzes auf eine raumseitig angeordnete und funktionsfähige Luftdichtheitsschicht zu achten.<sup>5</sup> Ein nachträglicher Wärmeschutz von innen empfiehlt sich hingegen dann, wenn das Erscheinungsbild einer Fassade aufgrund denkmalpflegerischer Gesichtspunkte nicht verändert werden darf (Abb. 1). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Innendämmungen das bauphysikalische Verhalten von Umfassungswänden erheblich

beeinflussen. Durch den nach außen abnehmenden Wärmedurchlasswiderstand sinkt bei niedrigen Außentemperaturen und zunehmender Dicke der Innendämmung die Temperatur in der Außenwand stark ab (Abb. 3). Folglich verlagert sich der Taupunkt weiter nach innen und zur Raumseite hin. Die wärmespeichernde Wirkung der Außenwand bleibt ungenutzt und im Übergangsbereich zwischen Wand und Innendämmung kann es im Winter zu Tauwasserbildung durch das Einströmen warmer Raumluft kommen.<sup>6</sup> Je nach Saugverhalten des Mauerwerks und Wasserdampfdurchlässigkeit der Innendämmung ist ebenso eine Anreicherung von Feuchtigkeit im Dämmstoff möglich (Abb. 4).<sup>7</sup>

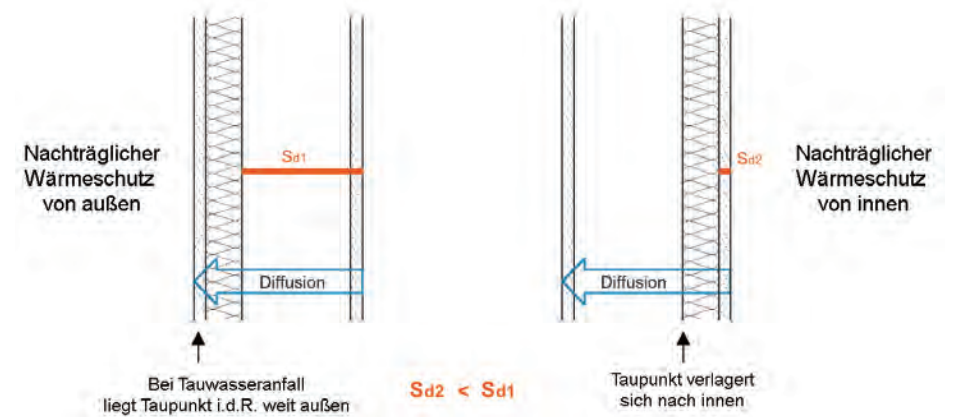


Abb. 4: Taupunktverschiebung in Abhängigkeit von der Lage der Wärmedämmung

Wie beim außenseitigen Wärmeschutz ist auch bei der Innendämmung zu beachten, dass der Dampfdiffusionswiderstand der einzelnen Schichten von innen nach außen abnimmt. Allerdings kann dieser Vorsatz bei dichten Wandbaustoffen nur selten eingehalten werden. Daher sind bei der Planung des innenliegenden Wärmeschutzes die vorgegebene innenseitige Dampfdichtigkeit des Außenbauteils und die relative Raumluftheuchte zu berücksichtigen. In der Praxis wird dazu häufig vor der Wärmedämmung eine dampfbremsende ( $0,5 \text{ m} \leq S_d \leq 1.500 \text{ m}$ ) oder dampfsperrende ( $S_d \geq 1.500 \text{ m}$ ) Schicht angeordnet. Unberücksichtigt bleibt in diesem Zusammenhang oft, dass im denkmalgeschützten Gebäudebestand Wandkonstruktionen

vorliegen (z.B. Fachwerkwände), die auf eine raumseitige Rücktrocknung angewiesen sind (Abb. 5). Mit dem Einbau einer Dampfbremse oder -sperre wird somit die kapillare Rücktrocknung unterbunden, was wiederum zu unerwünschten Nebeneffekten in Form von Feuchtigkeitsschäden im Wandquerschnitt führen kann. Bauphysikalisch günstiger wirken sich in diesem Zusammenhang dampfbremsende Bauteilschichten mit feuchteadaptiven Eigenschaften aus. Diese gewährleisten mit ihrem variablen  $S_d$ -Wert (Abb. 6) während der günstigen Witterungsperioden (Sommerzeit) eine Rücktrocknung und erschweren zugleich bei ungünstigen Witterungsperioden (Winterzeit) das Eindringen von Raumluftheuchte in die Konstruktion.

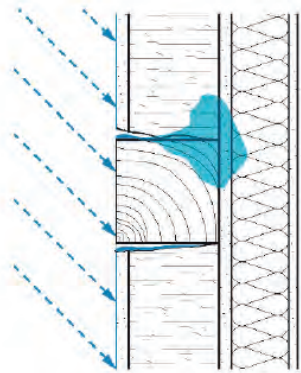


Abb. 5: Schlagregen kann bei Fachwerk tief in das Bauteil eindringen

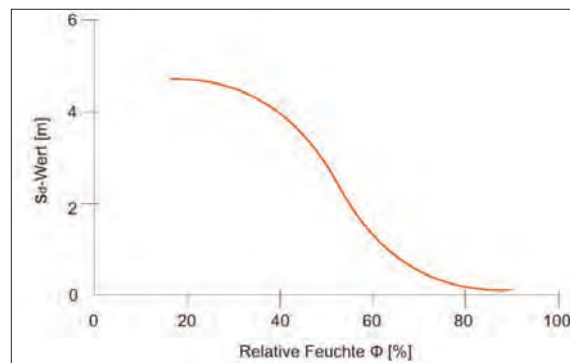


Abb. 6:  $S_d$  - Wert einer feuchteadaptiven Dampfbremse in Abhängigkeit von der rel. Raumluftheuchte

Alternativ zum klassischen Dämmstoff (Mineralwolle) mit dampfbremsender Bauteilschicht können beispielsweise auch kapillaraktive Wärmedämmungen (Calciumsilikatplatten) eingesetzt werden. Diese besitzen aufgrund ihres hohen Wasseraufnahmevermögens die Fähigkeit, überschüssigen Wasserdampf aus der Raumluft aufzunehmen und schnell wieder abzugeben. Darüber hinaus gewährleistet ihre hohe Kapillarität, dass sich auftretendes Kondensat an der Innenseite der Außenwand großflächig in der Calciumsilikatplatte verteilt und eine lokale Belastung infolge von Tauwasser vermindert wird.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass für eine realistische Beurteilung der Tauwassergefahr und der tatsächlichen Feuchtigkeitsverhältnisse einer Außenwand rechnerische Verfahren notwendig sind. Jedoch ist die genormte Berechnung entsprechend Glaser nicht hinreichend genau, um das instationäre Temperatur- und Feuchteverhalten von mehrschichtigen Bauteilen realitätsnah zu erfassen. So werden beispielsweise die kapillaren Feuchtigkeitstransportprozesse oder die Sorptionsvorgänge einer Außenwand vollständig vernachlässigt. Dies hat zur Folge, dass vermehrt ingenieurmäßige Rechen-

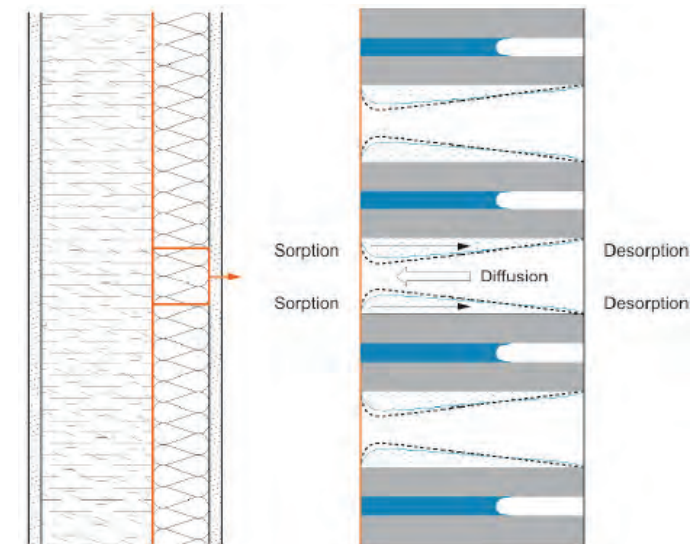


Abb.7: Funktionsweise einer kapillaraktiven Wärmedämmung (z.B. Calciumsilikatplatte)



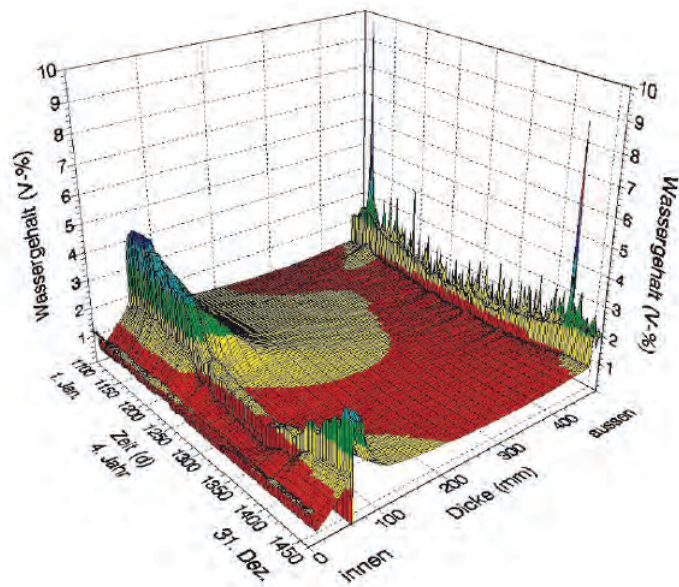


Abb. 8: Feuchteberechnung einer Außenwand mit Innendämmung für  $t = 1$  Jahr

methoden zum Einsatz kommen, die neben den beschriebenen Prozessen ebenfalls Feuchtelasten, wie z.B. Tauwasser, Schlagregen, aufsteigende Feuchtigkeit oder Baufeuchte berücksichtigen können (Abb. 8).<sup>11</sup>

- <sup>1</sup> EnEV 2009, S. 25
- <sup>2</sup> DIN 4108-2, S. 3
- <sup>3</sup> Neumann 2008, S. 703
- <sup>4, 7</sup> Garrecht 2011: S. 11
- <sup>5</sup> Garrecht 2011: S. 11, Vgl. DIN 4108-3, S. 6, 13.
- <sup>6</sup> Neumann 2008, S. 703 - 704
- <sup>8</sup> Neumann 2008, S. 704
- <sup>9</sup> Neumann 2008, S. 704, Vgl. DIN 4108-3, S. 5.
- <sup>10</sup> Venzmer 2001, S. 103 - 104
- <sup>11</sup> Garrecht 2011, S. 13 - 14, Vgl. WTA-Merkblatt 6-1-01/D

## Quellen

- [1] DIN 4108-2: Wärmeschutz- und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003.
- [2] DIN 4108-3: Wärmeschutz- und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Juli 2001.
- [3] EnEV 2009: Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und einer giesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). April 2009.
- [4] Garrecht, Harald: Energetische Ertüchtigung im Baubestand - Schäden vermeiden mit hygrothermischer Simulation. In: Tagungsband 35. Darmstädter Massivbauseminar. 07.04.2011.
- [5] Neumann, Dietrich u.A.: Frick / Knöll Baukonstruktionslehre 2 (33. Aufl.). Wiesbaden 2008.
- [6] Venzmer, Helmuth (Hrsg.) Praxishandbuch Mauerwerkssanierung von A - Z. Berlin 2001.
- [7] Weller, Bernhard / Fahrion, Marc-Steffen / Jakubetz, Sven: Denkmal und Energie. Wiesbaden 2012.
- [8] WTA Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Mai 2002.
- [9] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Mai 2002.

## Abbildungsnachweis

Abb. 1 und 2: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH: Klimaschutz und Denkmalschutz. Schutz für Klima und Denkmal - kommunale Praxisbeispiele zum Klimaschutz bei denkmalgeschützten Gebäuden. Köln 2011.

Abb. 3 - 8: Weller, Bernhard / Fahrion, Marc-Steffen / Jakubetz, Sven: Denkmal und Energie. Wiesbaden 2012.



---

## 5. Publikationen

---

Schäfer, S.; Abedini, S.; Bäcker, F.; Ludwig, C.: *Geometric Figures and Potential Component Families of Metal Sheets for the Use in Architecture*. Advanced Building Skins 2012 [Konferenz- oder Workshop-Beitrag], 2012, ISBN 978-3-85125-213-2

Bäcker, F.; Groche, P.; Abedini, S.: *Stringer Sheet Forming*. In: 40th Northamerican Manufacturing Research Conference (NAM-RC40), Society of Manufacturing Engineering, Notre Dame, 2012, ISBN 978-0-87263-873-1

Schäfer, S.; Reising, J.; Abedini, S.; Bäcker, F.: *Definition of a Tool Library for the Approximation of Freeform Surfaces*. In: Advanced Materials Research, 2012, ISSN: 1022-6680

Schäfer, S.; Abedini, S.; Zimmermann, A.: *Definition geometrischer Randbedingungen für Flächentragwerke hinsichtlich Ästhetik*. Meisenbach GmbH Verlag, Bamberg, 2012, ISBN 978-3-87525-337-5

Schäfer, S.; Abedini, S.; Ljubas, A.: *Smart Skins – Produktpotenziale kontinuierlich hergestellter und funktionsintegrierter Bauteile*. Meisenbach GmbH Verlag, Bamberg, 2012, ISBN 978-3-87525-338-2

---

## 5. Publikationen

---

Abedini, S.; Schäfer, S.; Reising, J.; Bäcker, F.: *Definition of a Tool Library for the Approximation of Freeform Surfaces*. In: International Conference on Frontiers of Mechanical Engineering, Materials and Energy (ICFMEME), Advanced Materials Research, Peking, 2012, ISSN: 1022-6680

Abedini, S.; Schäfer, S.; Ljubas, A.: *Construction of Smart Building Skins with Flow and Bend Splitted Products*. In: International Conference on Future Optical Materials and Circuit Design (FOMCD), Xiamen, Advanced Materials Research, Zürich, 2012, ISBN: 978-3-03785-641-3

Abedini, S.; Schäfer, S.: *Die Eigenschaftsverbesserung von Bauprodukten durch neue Fertigungstechnologien des SFB 666*. In: Tagungsband 4. Zwischenkolloquium SFB 666, Integrale blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung - Entwicklung, Fertigung, Bewertung. Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg, 2012, ISBN 978-3-87525-332-0

Schäfer, S.; Abedini, S.; Reising, J.: *Untersuchung von Potentialen parametrisch generierter Tragwerke*. Meisenbach GmbH Verlag, Bamberg, 2012, ISBN 978-3-87525-336-8

Schäfer, S.; Abedini, S.; Birkhofer, H.; Gramlich, S.: *Vom Halbzeug zum Produkt – Innovative Konzepte zur Verbindung verzweigter Blechstrukturen*. In: 8. Fachtagung Walzprofilieren Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg, 2012, ISBN 978-3-87525-331-3

Rensing, C.; Tittel, S.; Schäfer, S.; Burgaß, R.: *Mobiles aktivierendes Lernen im Bauingenieurwesen: eine Semantic Media Wiki basierte Anwendung und ein Erfahrungsbericht*. [Online-Edition: <ftp://ftp.kom.tu-darmstadt.de/papers/RTSB12.pdf>] In: DeLFI 2012. Köllen Verlag, Bonn, pp. 125-134 [Buchkapitel], 2012, ISBN 978-3-88579-601-5

Schäfer, S.; Abedini, S.; Groche, P.; Bäcker, F.; Ludwig, C.; Abele, E.; Jalizi, B.; Müller, C.; Kaune, V.: *Verbindungstechniken durch die Technologie des SFB 666*. In: Bauingenieur. Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 1-2013, ISSN: 0005-6650

---

## Ausblick 2013

---

Den kommenden Monaten und Aufgaben sehen wir sehr optimistisch entgegen. Zwar sind durch hinzugekommene administrative Aufgaben (Studiendekanat) neue Verantwortlichkeiten anvertraut worden, aber unsere Motivation und die Freude an unserem Tun ist ungebrochen hoch und die Ergebnisse unserer geleisteten Arbeit stimmen uns zuversichtlich.

Unsere nächsten Ziele sind aus administrativer Sicht die Durchführung eines umfassenden Reakkreditierungspaketes auf Fachbereichsebene, das die nächsten beiden Jahre intensiv beanspruchen wird. Ferner gilt es, neu hinzugekommene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter reibungslos in Lehre und Forschung zu integrieren. Spannend wird es sowohl im Februar, wenn die entscheidende Begehung zur 3. Förderphase des SFB 666 ansteht und kurz darauf im März, wenn der 2. große BI – Kongress „Bauen um Umwelt“ des FB 13 für internationale Besucher seine Pforten öffnet.

Im Februar März stehen wichtige Aufgaben von interdisziplinären Projekten (z.B. IPBI) an und kurz darauf werden Neue beginnen (GPEK). Erstmals wird es eine internationale Kooperation mit der VGU in Ho Chi Min City geben, für die wir im Sommersemester ein Forschungs- und Lehrmodul „Sustainable Urban Design“ anbieten werden. Dieses Projekt wird auf internationaler Ebene vorbereitet und ist auf längere Zeit ausgelegt. Weitere Forschungs- und Lehrkooperationen mit der Virginia Tech (USA) und der SUTD (Singapur) sind in Vorbereitung und halten uns ebenso in Atem. Es bleibt also spannend bei KGBauko.

---

## Danksagungen

---

Wir bedanken uns bei allen Lehrbeauftragten, sämtlichen Kolleginnen und Kollegen in allen Bereichen der Zusammenarbeit, Freunden von KGBauko und allen Mitgliedern des Fördervereins des Instituts für Mas sivbau e. V. sowie den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von KGBauko.

Wir danken recht herzlich für die angenehme Zusammenarbeit, für die hilfreiche Unterstützung unseres Fachgebietes und für gute Ideen und die stete Begleitung bei unserem Weg zu neuen Zielen.

Nicht zuletzt gilt unser Dank der TU Darmstadt, die uns die Möglichkeit bietet, immer allseits spannender und anspruchsvoller Arbeit nachzugehen.

Im Namen aller Mitarbeiter/-innen von KGBauko

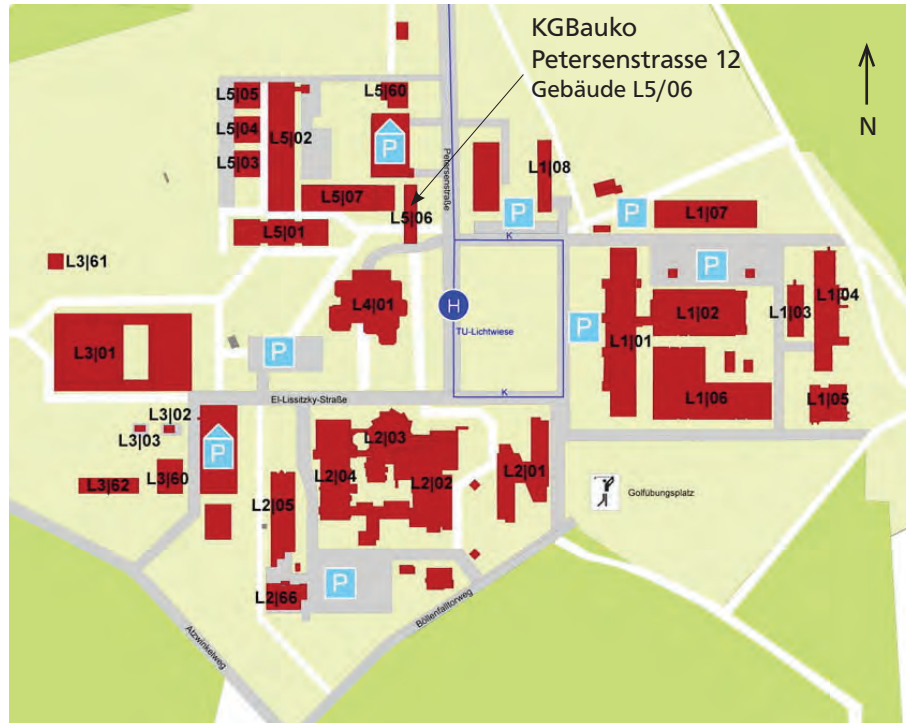
Prof. Stefan Schäfer



---

## Anfahrt

---



---

## Impressum

---

### Herausgeber

Prof. Architekt Stefan Schäfer

Technische Universität Darmstadt  
Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion  
Petersenstraße 12  
64287 Darmstadt

Telefon: +49 6151 16-3493

Fax: +49 6151 16-7034

[www.kgbauko.de](http://www.kgbauko.de)  
[info@kgbauko.tu-darmstadt.de](mailto:info@kgbauko.tu-darmstadt.de)

### Redaktion

Dipl.-Ing. Irene Root

### Gestaltung und Umsetzung

Dipl.-Ing. Irene Root

### Auflage

1. Auflage, Januar 2013